

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
Katedra textilní chemie



Obor: 3106T 002 Chemická technologie textilní

Využití mikrovlnného ohřevu při barvení textilií

The usage of the microwave heat for colouring the textiles

Iliyana Ognyanova Georgieva

KTC - 606

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Konzultant: Doc. Ing. Jaroslav Odvárka, DrSc.

Rozsah práce:

Počet stran: 62

Počet obrázků: 33

Počet tabulek: 9

Počet příloh: -

Datum: 8. 1. 2010

originál zadání

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, 8. 1. 2010

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěla poděkovat Doc. Ing. Jakubovi Wienerovi, Ph. D. za jeho odborné vedení, konzultace a pomoc při zpracování diplomové práce. Mé poděkování patří také Doc. Ing. Jaroslavu Odvárkovi DrSc. za rady tykající se provádění experimentu. Velký dík patří také Josefovi Vojtěchovi a Jiřímu Zemanovi za konstrukci experimentálního zařízení.

Poděkování si zaslouží i moje rodina za podporu a vytvoření potřebného zázemí pro celé mé vysokoškolské studium.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá využitím mikrovlnného ohřevu v textilním průmyslu. Byla zjišťována možnost využití mikrovlnného záření při barvení polyesterových textilií disperzními barvivy.

Teoretická část této diplomové práce se zabývá teorií elektromagnetického pole, současnými aplikacemi mikrovlnného záření na textilní materiály, popisem polyesterových vláken – jejich složením, strukturou, vlastnostmi, výrobou, a barvení polyesterových vláken mikrovlnami v současné době.

Experimentální část byla prováděna na dvou mikrovlnných zařízeních – štěrbina a mikrovlnný válec. Obě zařízení využívají elektromagnetické záření o frekvenci 2,45 GHz. Experimenty byly zaměřeny na dosahování středních a tmavých odstínů pomocí disperzních barviv.

Klíčová slova

elektromagnetické pole, magnetron, mikrovlnný ohřev, polyesterové vlákno, barvení polyesterových vláken

ANNOTATION

The diploma thesis deals with the usage of microwave heat in the textile industry. The possibility of the usage of the microwave radiation for colouring the polyester textiles with the dispersed dye was being investigated.

The theoretical part of the theses deals with the theory of electromagnetic field, with the current applications of microwave radiation on textile materials, with descriptions of the polyester fibre - its constitution, structure, properties and production, and colouring in current times.

The experimental part was performed on two microwave appliances - a slot and a microwave cylinder. Both those appliances use the electromagnetic radiation with the frequency of 2,45 GHz. Experiments were focused on the accomplishment of medium and dark tints with the help of dispersed dye.

Key words

electromagnetic field, magnetron, microwave heat, polyester fibre, colouration polyesters fibres

OBSAH

OBSAH	- 6 -
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	- 8 -
1. ÚVOD.....	- 10 -
2. ELEKTROMAGNETICKÉ POLE.....	- 12 -
2.1 Elektromagnetické spektrum	- 12 -
2.2 Elektromagnetické vlnění.....	- 14 -
2.3 Interakce s hmotou.....	- 15 -
3. MIKROVLNNÁ ZAŘÍZENÍ.....	- 17 -
3.1 Vlnovody	- 17 -
3.2 Magnetron.....	- 17 -
4. APLIKACE MIKROVLN NA TEXTILNÍ MATERIÁL	- 20 -
4.1 Fyzikální princip	- 20 -
4.2 Mikrovlnný ohřev.....	- 20 -
4.2.1 Charakteristické vlastnosti mikrovlnného ohřevu	- 22 -
4.3 Sušení materiálu	- 24 -
4.3.1 Konvenční sušení.....	- 24 -
4.3.2 Mikrovlnné sušení.....	- 26 -
5. POLYESTEROVÁ VLÁKNA	- 28 -
5.1 Z historie syntetických a polyesterových vláken	- 28 -
5.1.1 Hospodářský význam polyesterových vláken.....	- 29 -
5.2 Chemické složení	- 29 -
5.3 Výroba polyesterových vláken	- 30 -
5.4 Struktura polyesterových vláken.....	- 32 -
5.4.1 Molekulární struktura.....	- 33 -
5.4.2 Nadmolekulární struktura	- 33 -
5.5 Vlastnosti polyesterových vláken.....	- 33 -
5.5.1 Mechanické vlastnosti.....	- 34 -
5.5.2 Termické vlastnosti.....	- 34 -
5.5.3 Chemické vlastnosti	- 35 -
5.6 Barvení polyesterových textilií disperzními barvivy	- 36 -
5.7 Barvení polyesterových textilií mikrovlnami.....	- 39 -
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	- 41 -

6.1	Popis experimentu	- 41 -
6.2	Popis experimentálního zařízení	- 41 -
6.2.1	Vyzařování soustavy	- 43 -
6.3	Použitý materiál	- 43 -
6.4	Použité barvivo	- 43 -
6.5	Použité chemikálie	- 44 -
6.6	Použitá zařízení	- 45 -
6.6.1	Měření barevnosti	- 45 -
6.6.2	Laboratorní Fulár	- 45 -
6.7	Použití absorbéru	- 45 -
6.8	Pracovní postup barvení polyesterové tkaniny	- 46 -
7.	ZÁVĚR	- 57 -
8.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 59 -

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

apod.	a podobně
atd.	a tak dále
B	magnetická indukce [T]
B*	barvivo
c	rychlost světla ve vakuu [$3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$]
E	intenzita elektrického pole [V.m^{-1}]
f	frekvence [Hz]
G	glycerol
h	Planckova konstanta [$= 6,65 \times 10^{-34} \text{ J.s} = 4,1 \text{ } \mu\text{eV.GHz}^{-1}$]
HET	Bis-(hydroxyethyl)-tereftalát
K	absorpční koeficient [-]
K/S	Kubelka – Munkova závislost
l	vlnová délka [m]
LOI	limitní oxidační číslo [%]
MP	mokrý přivažek [%]
m_s	hmotnost suché textilie [g]
m_v	hmotnost kapaliny v textilií [g]
MV	mikrovlnný válec
MVZ	mikrovlnné záření
MW energie	mikrovlnná energie
P	energie absorbovaná v jednotce objemu [W.m^{-3}]
PES	polyester
PET	polyethylentereftalát
Tg	teplota skelného přechodu [$^{\circ}\text{C}$]
tj.	to je
TPP	textilní pomocné přípravky
u	měrná vlhkost [-]
R_{∞}	stupeň remise [-]
S	rozptylový koeficient [-]
S*	sacharóza
Š	štěrbina
Vc	celkový objem lázni [l]
ϵ'	permitivita [F.m^{-1}]

ε''	dielektrický ztrátový faktor materiálu
λ	vlnová délka [m]

1. ÚVOD

Barvení textilií je zušlechťovací proces, ve kterém se snažíme dosáhnout požadovaného odstínu, sytosti a určitých stálostí vybarvení. Probíhá obvykle v heterogenní soustavě dvou fází, kde textilní substrát tvoří fázi pevnou a barvicí lázeň fázi kapalnou.

Záměrem této diplomové práce je zkoumání barvení polyesterových textilií disperzními barvivy za pomoci mikrovlnného ohřevu. Dále je snaha optimalizovat postup barvení s ohledem na maximální dosažitelnou sytost vybarvení a egalitu, a také na možnost komerčního využití při barvení textilií.

Polyesterová vlákna se barví téměř výhradně disperzními barvivy. Při této barvicí metodě se uplatňují textilní pomocné přípravky. Jsou to především zahušťovadla a produkty s výbornými dispergačními a smáčecími účinky. Je samozřejmé, že výsledky této technologie jsou závislé nejen na použitých barvivech a TPP, ale také na kvalitě a výkonu strojních zařízení.

Tato práce se zaměřuje především na použití metody barvení vláken pomocí mikrovlnného ohřevu. Zařízení produkující mikrovlnné záření se nazývá mikrovlnná trouba a je běžnou součástí ve většině dnešních domácností. Vznikla jako vedlejší produkt vědeckého výzkumu vln vysílaných radary. V roce 1946 si Dr. Percy Spencer povšiml tepelných účinků vysokofrekvenčních elektromagnetických vln na některé látky. Na základě tohoto objevu zkonstruoval první mikrovlnnou troubu, která používala vodní chlazení magnetronu a musela být připojena k vodovodnímu řádu. Vážila 340 kg, byla vysoká 165 cm a její cena byla 5000 \$.

K většímu rozšíření mikrovlnných trub začalo docházet, až když byl vyvinut nový lehčí, menší a vzduchem chlazený magnetron. V USA se začaly mikrovlnné trouby prosazovat v domácnostech kolem roku 1975 a v Evropě se začaly hojně používat teprve po roce 1980 [1].

Největšího uplatnění našly mikrovlny v komunikacích (radar, televize, mobilní telefony, satelitní vysílání atd.), dále při ohřevu a zpracování potravin (rozmrazování, pečení, ohřívání) a při sušení různých materiálů (keramika, dřevo, léčiva apod.). V chemii se uplatnění mikrovln rozvíjelo pomalu a dosáhlo výraznějšího rozvoje až v posledních letech.

Dnes má mikrovlnný ohřev široké využití především k účinnému a energeticky výhodnému sušení materiálů. Mikrovlny se využívají k sušení dřeva, papíru, keramických a farmaceutických produktů, různých granulovaných materiálů nebo také sušení cívek v textilním průmyslu [2].

Pro ohřev mikrovlnná trouba využívá jedinečných vlastností mikrovln, které procházejí izolanty, odrážejí se od kovů a jsou absorbovány tuky, cukry a vodou, které svým působením ohřívají [1].

I přes zvýšené nároky na spotřebu energie přináší tato metoda množství kladů. Kromě zvýšení kvality nedosažitelné jinými technologiemi, umožňuje mikrovlnný ohřev rovněž zkrácení výrobní doby a snížení výdajů na výrobu. Energetickou náročnost tedy nejvýznamněji vyváží úspora celkových přímých provozních nákladů.

Princip mikrovlnného ohřevu spočívá v přeměně elektromagnetické energie na energii tepelnou, která vzniká působením pole na polární molekuly materiálu. Bipolární molekuly vody se natáčejí podle změny střídavého elektromagnetického pole, což je až 10^9 za sekundu. Přitom dochází k mezimolekulárnímu tření a překonávání mezimolekulárních sil. Tím vzniká teplo a dochází k rychlému ohřevu materiálu. Mikrovlny mohou pronikat do určité hloubky materiálu, podle jeho dielektrických parametrů, čímž je materiál ohříván současně uvnitř i na povrchu. Tento proces je tak nezávislý na tepelné vodivosti textilií [3].

Výhodou mikrovln oproti konvenčnímu ohřevu je současný ohřev materiálu v celém objemu a tím dosažení lepších vlastností. Vyšší kvalita výrobků umožňuje konkurenceschopnost a tím nárůst prodeje. To neznamena jen vyšší tržby, ale i úsporu nákladů snížením produkce špatných výrobků a ztrát při výrobě.

U ohřevu textilních materiálů je problém s energetickou účinností u tenkých materiálů. Čím méně materiálu je ohříváno, tím méně energie je absorbováno [4].

2. ELEKTROMAGNETICKÉ POLE

Elektromagnetické pole je fyzikální pole, které odpovídá míře působení elektrické a magnetické síly v prostoru. Skládá se ze dvou fyzikálně propojených polí, elektrického a magnetického. Ačkoli elektromagnetické je svým dosahem nekonečné, obvykle se z něj uvažuje jen ta část, která pole tvoří, tedy část, kde se vyskytují tělesa v okolí jiného nabitého tělesa [5].

Elektromagnetické pole se tedy definuje jako forma hmoty schopná se šířit prostorem rychlostí světla, a mající silové účinky na částice s nábojem. Dokonce i živé organismy vyzařují elektromagnetické pole. Jednak vyzařují slabé bioelektrické pole a dále také vyzařují v oblasti infračervených vln. Toho se využívá například u infračervených kamer, bezpečnostních čidel apod. Elektromagnetické pole by se také dalo popsat jako přenos energie prostorem rychlostí světla [6].

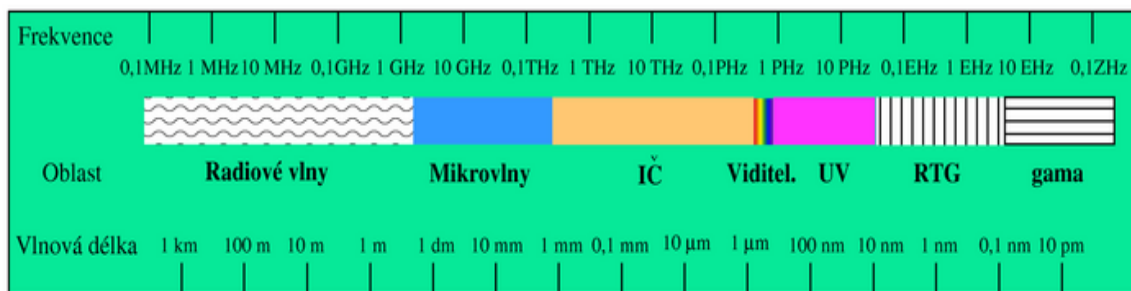
2.1 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické záření o vlnové délce λ (ve vakuu) má frekvenci f a jemu připisovaný foton má energii E . Vztah mezi nimi vyjadřují následující rovnice:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{a} \quad E = h \cdot f,$$

kde c je rychlost světla ($3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) a h ($6,65 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$) je Planckova konstanta [5].

Elektromagnetické záření je šíření elektromagnetické energie prostředím, probíhá ve formě periodických vln. Je rozděleno na mnoho frekvencí a vzájemně se liší vlnovou délkou. Toto dělení se nazývá elektromagnetické spektrum (viz obr. 1). Obsahuje dlouhé rádiové vlny, mikrovlny, dále infračervené, viditelné, ultrafialové, rentgenové a gama záření. Přestože je dělení celkově přesné, někdy dochází k překrytí sousedních typů [7].



Obr. 1 Elektromagnetické spektrum [7]

V této práci se zabýváme mikrovlnami. Ty mají frekvence v intervalu 300 MHz až 300 GHz, a vlnové délky v rozsahu od 1 mm do 1 m. Samotné mikrovlnné pásmo se ještě dále dělí (viz tab. 1), přičemž se dá říci, že do něj patří i ultra krátké vlny.

Tab. 1 Elektromagnetické spektrum [8]

český název	frekvence	vlnová délka	anglické označení
extrémně dlouhé vlny	0,3 – 3 kHz	$10^3 - 10^2$ km	Extremely Low Frequency (ELF)
velmi dlouhé vlny	3 – 30 kHz	$10^2 - 10$ km	Very Low Frequency (VLF)
dlouhé vlny (DV)	30 – 300 kHz	10 – 1 km	Low Frequency (LF)
střední vlny (SV)	0,3 – 3 MHz	1 – 0,1 km	Medium Frequency (MF)
krátké vlny (KV)	3 – 30 MHz	100 – 10 m	High Frequency (HF)
velmi krátké vlny (VKV)	30 – 300 MHz	10 – 1 m	Very High Frequency (VHF)
ultra krátké vlny (UKV)	0,3 – 3 GHz	1 – 0,1 m	Ultra High Frequency (UHF)
mikrovlny	3 – 30 GHz	100 – 10 mm	Super High Frequency (SHF)
mikrovlny	30 – 300 GHz	10 – 1 mm	Extremely High Frequency (EHF)
infrachervené záření	$10^{10} - 10^{14}$ Hz	1 mm – 1 mm	Infra Red (IR)
viditelné záření	10^{14} Hz	400 - 900 nm	Visible (VIS)
ultrafialové záření	$10^{14} - 10^{16}$ Hz	400 - 10 nm	Ultra Violet (UV)
rentgenové záření	$10^{16} - 10^{19}$ Hz	10 – 0,1 nm	X-Rays
gama záření	$10^{19} - 10^{24}$ Hz	$10^{-10} - 10^{-14}$ m	Gamma Rays

Mikrovlny jsou převážně využívány pro ohřev materiálů a v komunikačních technologiích. Pro mikrovlnný ohřev byly určeny frekvence 434 MHz, 915 MHz, 2,45 GHz a 5,8 GHz. Eliminuje se tak nebezpečí interference s telekomunikačními frekvencemi (navigace letadel, televizní vysílání, mobilní telefony apod.). V mikrovlnných troubách, se využívá frekvence 2,45 GHz. Vlna o této frekvenci má ve volném prostoru vlnovou délku 122,4 mm. Tato frekvence se jeví jako výhodná pro ohřev vody [8].

2.2 Elektromagnetické vlnění

Elektromagnetické vlnění je děj, při kterém se přenáší elektromagnetická energie ze zdroje ke spotřebiči. Je kombinací vlnění magnetického a elektrického. Každý elektrický náboj s nenulovým zrychlením vyzařuje elektromagnetické vlnění. Elektrická složka je charakterizována vektorem intenzity elektrického pole \vec{E} a magnetická vektorem magnetické indukce \vec{B} . Na elektromagnetické vlnění se dá pohlížet jako na vlnu, kterou charakterizuje rychlost šíření, vlnová délka a frekvence. Anglický fyzik J. C. Maxwell dospěl v druhé polovině 19. století k závěru, že elektromagnetický rozruch se šíří stejnou rychlostí jako světlo, které je vlastně jedním druhem elektromagnetického vlnění. Elektromagnetické vlnění je vlnění příčné [9].

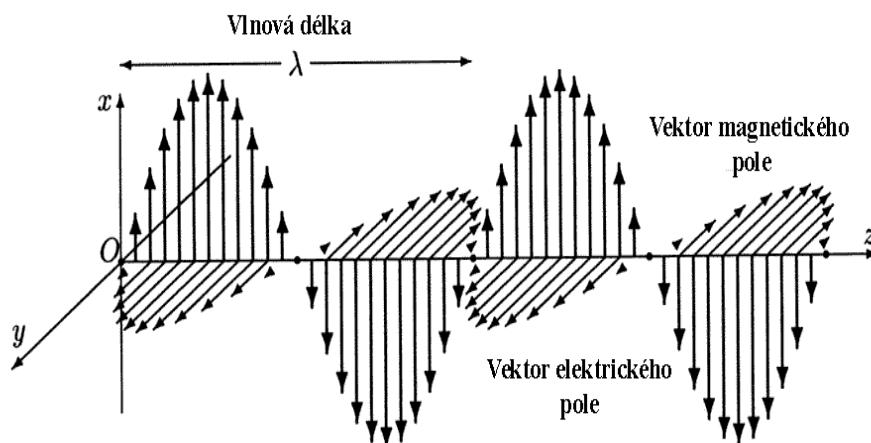
Vektory charakterizující magnetické a elektrické pole jsou v každém bodě a v každém okamžiku k sobě kolmé a oba jsou kolmé ke směru pohybu vlny. Jejich amplitudy mají konstantní poměr a ve vakuu se elektromagnetické vlny pohybují rychlostí světla, tedy platí vztah [10]:

$$f \cdot l = c$$

f je vlnová frekvence [Hz]

l je vlnová délka [m]

c je rychlost světla ve vakuu [m.s^{-1}]



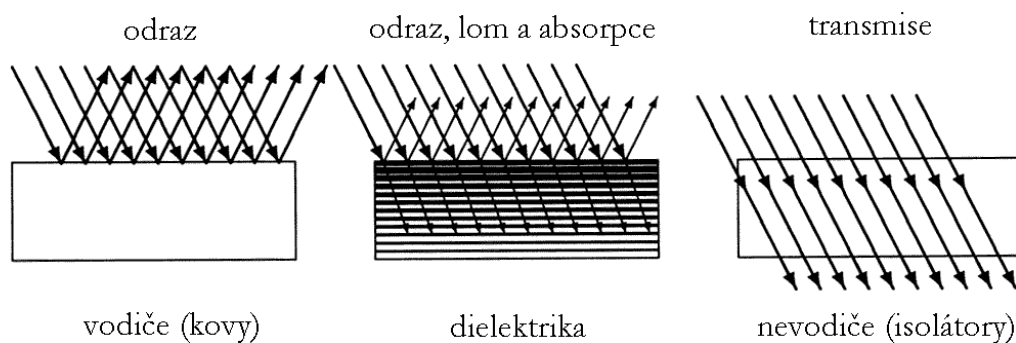
Obr. 2 Elektromagnetická vlna v bezztrátovém prostředí

Rychlost šíření vlny (c) lze také vyjádřit jako podíl okamžitých hodnot pole elektrického a magnetického [11]:

$$c = \frac{E}{B}$$

2.3 Interakce s hmotou

Mikrovlnný ohřev vzniká při přeměně mikrovlnné energie na teplo. Existují tři typy materiálu z hlediska interakce s mikrovlnami.



Obr. 3 Interakce elektromagnetických vln s materiálem [12]

a) Odraz (např. kovy). Materiály, které elektromagnetické vlny neabsorbují, ale odrážejí, nelze mikrovlnami ohřívat, avšak detekce odraženého výkonu slouží k radiolokaci, která se široce uplatňuje v dopravě, průmyslu i v obraně.

b) Absorpce (např. voda, polární rozpouštědla). Tuto vlastnost mají materiály obsahující i malé množství polárních molekul schopných absorbovat elektromagnetické pole (např. voda, soli, uhlík, apod.).

c) Transmise – transparentní – průsvitné (např. sklo, nepolární látky). Touto vlastností se vykazují materiály bez bipolárního elektrického náboje, jako je: vzduch, některé druhy skla, polyetylén, teflon, polystyrén. Ty na elektromagnetické pole nereagují.

Přičemž hloubka vniku je limitována hodnotou jejich ztrátového činitele. Textilní materiál elektromagnetické vlny ohřívají – procházejí jím podobně jako světlo různé tmavým barevným sklem.

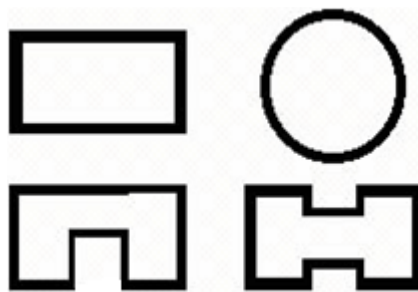
Voda je polární látka (tj. se záporným nábojem na kyslíku a kladným na vodíku). V normálním stavu jsou molekuly vody v neuspořádaném stavu, v elektrickém poli dojde k orientaci molekul podle polarit (kladná část k zápornému pólu, záporné ke kladnému pólu). Polarita vysokofrekvenčního elektromagnetického pole se mění více než 10^9 za sekundu. To nutí polární molekulou přizpůsobit se těmto rychlým změnám. Sotva se ale přizpůsobí, již se polarita opět změní. Tak se vyvolá oscilační vibrace, kdy dochází ke srážkám molekul vody a k dielektrické ztrátě. To se následně projeví jako teplo, tj. dojde k přeměně mikrovlnné energie na tepelnou [12].

3. MIKROVLNNÁ ZAŘÍZENÍ

Každé mikrovlnné zařízení obsahuje takzvaný magnetron, speciální elektronku, v níž magnetická a elektrická pole působí na elektrony tak, aby produkovala záření v elektromagnetickém spektru o frekvenci okolo 2,45 GHz. Takto vyprodukované mikrovlnné záření působí na molekuly ohřívaného produktu. Všechny energetické vlny mění svou polaritu z pozitivní na negativní a to při každém cyklu vlny [13].

3.1 Vlnovody

Slouží pro přenos energie z vysokofrekvenčního generátoru (magnetronu) do vnitřního prostoru mikrovlnného zařízení. Termínem vlnovod většinou označujeme kovovou trubici, její příčné rozměry jsou srovnatelné s délkou vlny. Vnitřní stěny vlnovodu bývají upraveny tak, aby byly minimalizovány ztráty v kovu (obvykle lze stěny vlnovodu pokládat za dokonalý elektrický vodič). Příčný profil vlnovodu má obvykle obdélníkový nebo kruhový tvar [14, 15].

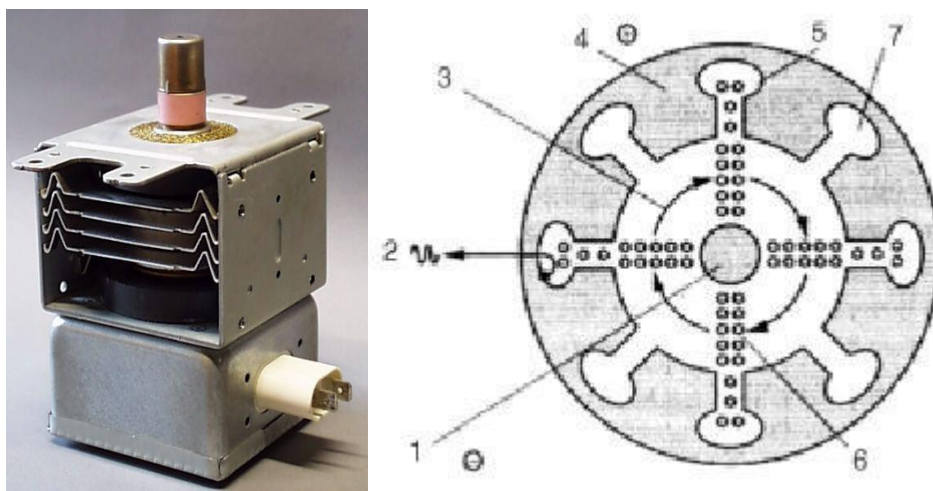


Obr. 4 Vlnovody

3.2 Magnetron

Oscilace magnetronu jako první pozoroval a popsal již ve 20. letech Augustin Žáček, profesor Univerzity Karlovy. Magnetron je zdrojem vysokofrekvenčního záření. Používá se jako generátor vysokých výkonů a pracuje s vysokou účinností. Je reprezentován vysokofrekvenčními elektronkami pracujícími ve zkřížených polích. Uvnitř magnetronu dochází k interakci elektronů s vysokofrekvenčním polem v celém vnitřním prostoru. Z teoretického hlediska je problematika magnetronů složitá. Často je popisován jako výkonová vakuová elektronka, u které tok elektronů není ovládán

mřížkou, ale vnějším magnetickým polem. Má vyhřívanou střední katodu a železnou válcovou anodu s rezonančními dutinami [16].



Obr. 5 Magnetron a uspořádání katody a anody magnetronu [16]

(1 - katoda, 2 - vysokofrekvenční výstup s anténou, 3 - směr pohybu daný vnějším magnetickým polem, 4 - anoda, 5 - duté rezonanční prostory, 6 - obíhající svazky elektronů)

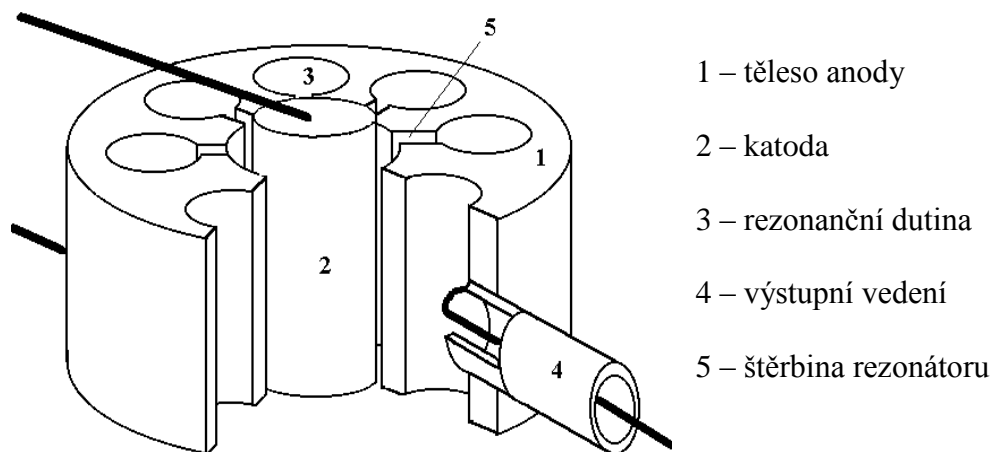
Konstrukce magnetronu je poměrně jednoduchá. Uvnitř vakuované trubice se nachází kovový váleček, sloužící jako katoda, obklopený kovovým blokem (anodou) s členitou strukturou, která vytváří sudý počet komor (štěrbín). Od anody vede k vršku trubice kovový pásek, sloužící jako anténa. K trubici jsou zvenku připevněna hliníková chladič žebra a celá trubice je vložena mezi dva silné feritové magnety.

Princip funkce magnetronu je naopak značně složitá. Pracuje na principu ohýbání toku elektronů pomocí silného magnetického pole. Katoda vysílá elektrony, ty jsou elektrickým polem urychlovány směrem k anodě a vlivem magnetů se jejich pohyb stáčí směrem doleva. Elektrony nabíjí jeden okraj komory a proud začne procházet na okraj druhý.

Magnetrony umožňují generovat výkony na úrovni několika kW při poměrně vysoké účinnosti – až 80 %. Na druhé straně bývá u magnetronů obtížné udržet dostatečně vysokou stabilitu frekvence a fáze. Proto je současné využití magnetronů zajímavé především v oblasti mikrovlnného ohřevu.

Popis magnetronu lze prezentovat jako vakuovou válcovitou baňku se žhavým vláknem v ose. Na vlákně je připojené záporné napětí a na vodivém obalu kladné.

Elektrony, které se z každého žhavého kovu uvolňují ven a tvoří kolem žhavých předmětů elektronový oblak, mají snahu letět prázdným vakuovým prostorem od vlákna k obalu.



Obr. 6 Řez magnetronem [16]

Celá baňka je umístěna do zkřížených polí, elektrického a magnetického. Tato pole dráhu elektronů zakřívují tak, že se k obalu dostat nemohou. Jsou magnetickým polem obráceny zpět a jejich cesta začíná nanovo [17].

4. APLIKACE MIKROVLN NA TEXTILNÍ MATERIÁL

4.1 Fyzikální princip

Pro ohřev se využívá jevu, kdy se permanentní dipóly v stejnosměrném elektrickém poli orientují do energeticky nepříjemnější polohy. Pokud dojde k přepólování pole, snaží se molekuly nesoucí náboj opět otočit do nejvhodnější pozice. Snaha vyrovnat se s měnícím se elektrickým polem elektromagnetického vlnění vede k rotačnímu pohybu, při němž dochází ke kolizím a tření se sousedními molekulami a ke vzniku tepla. Uplatňují se přitom dva jevy. Mezimolekulární tření při překonávání mezimolekulárních přitažlivých sil a hystereze mezi působícím polem a indukovanou elektrickou odezvou vlivem setrvačnosti, jež závisí na elektrickém náboji, hmotě a tvaru molekul. Nejběžnější molekulou, jejíž permanentní dipólový moment vede k její rotaci při působení elektromagnetického pole je voda [8].

4.2 Mikrovlnný ohřev

Jak již bylo zmíněno, mikrovlny vznikají přeměnou elektrické energie na energii elektromagnetického vlnění v generátoru, který se nazývá magnetron. Tato energie se dále mění na energii tepelnou působením na polární molekuly materiálu. Materiál se ohřívá v celém objemu. Ze všech druhů ohřevu lze pouze dielektrickým ohřevem (tj. ohřevem na vysokých kmitočtech včetně mikrovln) vyvolat vyšší teplotu uvnitř produktu než na povrchu.

Mikrovlnný ohřev je jednou z možností jak nedestruktivním způsobem snížit obsah volné vody v materiálu. Jedná se o jednu z nepřímých metod sanace. Výhodou metody mikrovlnného ohřevu je redukce vlhkosti v konstrukci v relativně velmi krátkém časovém úseku. Přínosem je prostorová nenáročnost a použití metody na stávající konstrukci bez zásahu do ní [18].

Princip tohoto ohřevu spočívá v přeměně elektromagnetické energie na energii tepelnou, která vzniká působením pole na polární molekuly materiálu. Jak již bylo vysvětleno, bipolární molekuly vody se natáčí podle změny střídavého elektromagnetického pole. Přitom dochází k mezimolekulárnímu tření a překonávání mezimolekulárních sil, čímž vzniká teplo a dochází k rychlému ohřevu materiálu. Mikrovlny mohou pronikat do určité hloubky materiálu, podle jeho dielektrických

parametrů, čímž je materiál ohříván současně uvnitř i na povrchu a tudíž je tento proces nezávislý na tepelné vodivosti textilií [3].

Materiál obsahující volnou vodu absorbuje energii mikrovln s následným zvýšením teploty a expanzí vodní páry do okolí. Po vstupu MW energie do konstrukce zde dochází k velmi rychlým změnám polarizace molekul volně vázané vody. Tyto změny mají za následek tření molekul a vznik tepelné energie. Díky vzniklé energii dojde k fázovému přechodu z jednoho skupenství do druhého. Konečný efekt mikrovlnného ohřevu nazýváme *evaporace*, to je vypařování vody z materiálu do okolního prostředí. Ve srovnání s jinými metodami vysušování, které konstrukční prvek ovlivňují převážně povrchově, mikrovlnný ohřev působí v celém objemu materiálu, přímo na molekuly vody a na organismy vodu obsahující (sterilizace ohřevem). Mechanismus přeměny mikrovlnné energie na teplo je dán následujícím vztahem:

$$P = 2 \pi f \epsilon' \epsilon'' E^2$$

P ... energie absorbovaná v jednotce objemu ($\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$)

f ... frekvence mikrovlnného pole

ϵ' ... permitivita ($\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$)

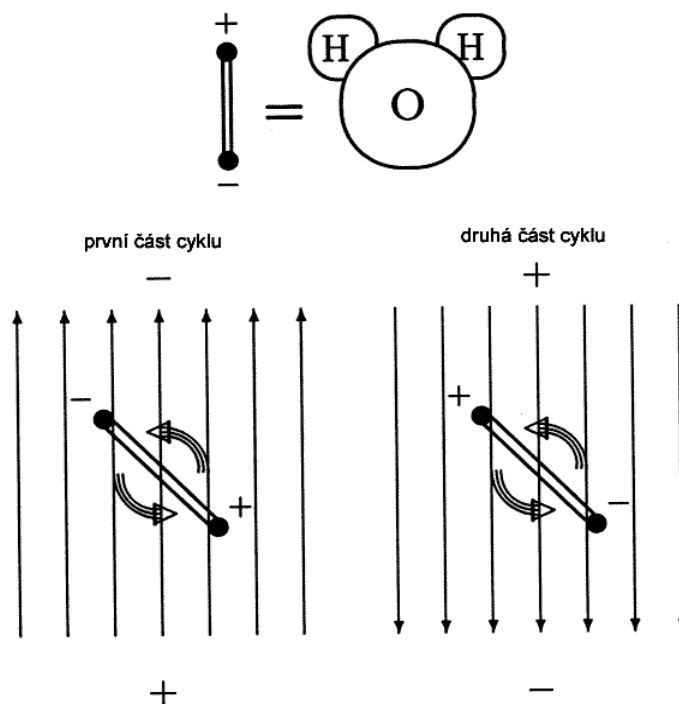
ϵ'' ... dielektrický ztrátový faktor materiálu

E ... intenzita elektrického pole uvnitř materiálu ($\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$) [18]

Opět nutno připomenout, že při dielektrickém ohřevu dochází k přeměně energie střídavého elektrického pole o velmi vysoké frekvenci na tepelnou energii. Děje se tak působením pole na polární molekuly materiálu. Dipóly molekul se nepřetržitě natáčí dle okamžitého směru elektromagnetického pole a takto mění svoji orientaci až několik miliardkrát za sekundu. Přitom se využívá dvou procesů: mezimolekulárního tření, k němuž dochází při překonávání mezimolekulárních přitažlivých sil, a hystereze, která vzniká mezi působícím polem a indukovanou elektrickou odezvou vlivem setrvačnosti, jež závisí na elektrickém náboji, hmotě a tvaru molekul. Díky těmto jevům je ohřev produktu velmi rychlý a probíhá v celém objemu, ve kterém působí elektromagnetické pole na polární materiál.

Pokud dojde k přepólování pole, snaží se částice nesoucí náboj opět otočit do nejvhodnější pozice. Snaha částice vyrovnat se s měnícím se elektrickým polem mikrovln vede k rotačnímu pohybu, při němž dochází ke srážkám a tření se sousedními

molekulami a ke vzniku tepla. Nejběžnější molekulou, jejíž permanentní dipólový moment vede k její rotaci při ozařování mikrovlnami je voda, která je zároveň ve značném množství přítomna v biologických materiálech a způsobuje tak jejich ohřev v mikrovlnné troubě [4].



Obr. 7 Dipólová polarizace molekuly vody [19]

4.2.1 Charakteristické vlastnosti mikrovlnného ohřevu

Mikrovlnný ohřev má některé vlastnosti, které neexistují u klasického ohřevu. Projevují se jako mikrovlnné efekty. Mikrovlnné efekty jsou takové efekty, které nelze dosáhnout klasickým ohřevem. Jsou dva druhy mikrovlnných efektů - teplotní a neteplotní.

Teplotní efekty jsou vyvolány přeměnou mikrovlnné energie na teplo. Rozeznáváme následující druhy teplotních efektů:

- přehřátí
- horké a studené zóny
- objemový ohřev

-
- selektivní ohřev
 - teplotní úlet
 - simultánní chlazení (při mikrovlnném ohřevu)
 - ostatní efekty (i zábavného charakteru, např. jiskření tužky, vypalování CD, rozsvícení výbojky a další)

Přehřátí

Může být celkové či lokální. Například polární rozpouštědla (aceton, propanol) vřou za atmosférického tlaku až o 30 až 50 °C nad bodem varu neboť dodaná mikrovlnná energie je mnohem vyšší, než odebraná energie reprezentovaná výparným teplem. Nejčastěji k přehřátí dochází v důsledku nehomogenity mikrovlnného pole. Mikrovlnné pole rozptýlené v prostoru trouby není nikdy zcela homogenní, tj. existují místa s vyšší a nižší intenzitou, která mohou způsobit až místní přepálení zejména tuhých materiálů. V kuchyňských mikrovlnných troubách se tento jev potlačuje rotačním talířem, u průmyslových zařízení běžícím pásem.

Objemový ohřev

K ohřevu materiálu dochází v celém objemu, tj. zevnitř k povrchu a nikoliv přestupem tepla od povrchu dovnitř, jak je tomu u klasického ohřevu. To může přispívat k rovnoměrnosti ohřevu, avšak záleží na tvaru, velikosti a složení materiálu. Teplotní profil je opačný u ohřevu klasického. Nejvyšší teplota je uvnitř a klesá směrem k povrchu. Vzhledem k objemovému ohřevu je mikrovlnný ohřev několika násobně rychlejší než ohřev klasický a nezávisí na tepelné vodivosti materiálu. To znamená, že materiály s nízkou tepelnou vodivostí lze velmi rychle ohřát v celém objemu, což klasickým ohřevem není možné.

Selektivní ohřev

K ohřevu u vícesložkového materiálu dochází jen u složky, která absorbuje mikrovlny. Neabsorbující složka se neohřívá nebo jen vedením od ohřáté složky (např. směsi voda – tuk, voda – olej, voda – chlorid sodný atp.). V těchto případech se ohřívá

jen voda. To má dalekosáhlý význam pro provádění chemických reakcí a v dalších procesech (sušení, katalýza).

Teplotní úlet

Dochází k němu jen ve výjimečných případech, kdy schopnost absorpce mikrovln prudce stoupá s teplotou (např. u práškových kovů, či oxidů). U vody tento případ nehrozí, neboť absorpce mikrovln vodou s teplotou naopak klesá. Může však dojít k přehřátí vody nad 100 °C.

Neteplotní efekty jsou efekty vyvolané přímým účinkem mikrovlnné energie na chemickou vazbu, tj. které se nedají vysvětlit žádným z výše uvedených teplotních efektů. Jejich existence však nebyla dosud vědecky plně prokázána [19].

4.3 Sušení materiálu

Sušením rozumíme fyzikální děj, při kterém se odstraňuje vlhkost obsažená v materiálu [20]. Je to děj difúzní, vlhkost přechází z vnitřní části na povrch materiálu a dále pokračuje ven do okolí povrchovým vypařováním. Tepelný způsob odstraňování vlhkosti je energeticky velmi náročný proces, a proto se hledají způsoby jak jej zefektivnit. Sušení je aplikace, u které se s výhodou dá využívat mikrovlnné energie [21].

4.3.1 Konvenční sušení

Při konvenčním sušení postupuje teplo z povrchu dovnitř a vlhkost vystupuje zevnitř na povrch, kde se odpařuje. Vlhkost tedy směřuje proti teplu. Při hloubkovém působení mikrovln se ohřívá vnitřek produktu a vlhkost je vytěšňována směrem k místu nižšího tlaku, tedy na povrch materiálu, který je chladný, protože okolní vzduch se mikrovlnami neohřívá. Nejvyšší teplota je uvnitř materiálu a klesá směrem k povrchu.

Podstatou sušení je přechod vlhkosti z pevné fáze na fázi plynnou. Tento proces je možný, pokud je tlak páry nad povrchem materiálu větší než parciální tlak v okolním prostředí [4].

Proces sušení má dvě fáze:

- Výměna vlhkosti a tepla mezi materiálem a prostředím, které jej obklopuje
- Převedení vlhkosti ve tvaru kapaliny nebo páry z vnitřních částí materiálu k povrchu

Vázání kapaliny v materiálu

Rozlišujeme tři druhy vlhkosti:

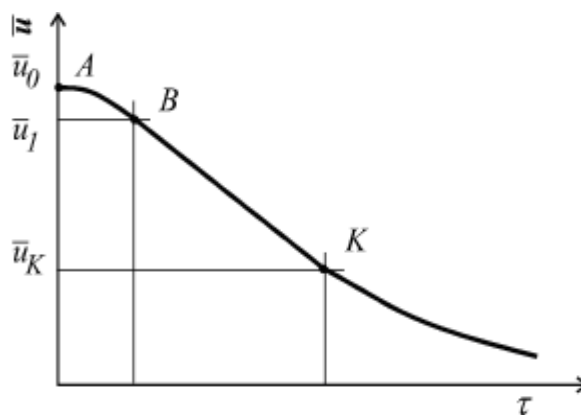
- *Chemicky vázaná vlhkost* je součástí chemické stavby a udává se v přesných váhových poměrech. Při sušení se neodstraňuje, jinak by mohlo dojít k porušení struktury materiálu.
- *Fyzikálně vázaná vlhkost* je vlhkost kapilární, která se nachází v pórech a dutinách.
- *Mechanicky vázaná vlhkost* je vlhkost adhezní a smáčecí.

Statika sušení definuje vztah mezi počátečními a konečnými parametry látek, které se na procesu podílí. Stanovuje se pomocí rovnic materiální a tepelné bilance. Umožňuje určit složení materiálu, spotřebu sušícího prostředku (vzduchu) a tepla.

Kinetika sušení definuje rychlost změny vlhkosti. Stanovuje vztah mezi změnou vlhkosti materiálu v čase a parametry procesu, jako jsou např. vlastnosti, struktura nebo rozměry materiálu, podmínky proudění sušícího prostředku, typ zařízení apod. Kinetiku nejlépe popisuje křivka sušení, [4, 20].

Křivka sušení:

Základní dynamická závislost (viz obr. 8) je vyjádřena střední měrnou vlhkostí sušeného materiálu jako funkcí času $\bar{u} = f(\tau)$.



Obr. 8 Křivka sušení v obecném tvaru [20]

Křivka sušení se dělí na 3 části. V úseku (AB) se nejdříve energie spotřebovává na ohřátí materiálu a v něm obsažené vody a k přeměně vody na páru. Poté následuje lineární část (BK), kdy je úbytek vlhkosti konstantní. Bod K se nazývá kritický bod a za ním se proces odpařování zpomaluje - povrchová vlhkost je odstraněna, ale vlhkost uvnitř materiálu nedospěla kapilárami k povrchu, [20, 21, 22].

Křivka sušení v obecném tvaru spíše zachycuje průběh při ohřevu materiálu konvenčním způsobem. Při mikrovlnném sušení se úsek (AB) neprojeví - ohřev materiálu a vody proběhne téměř okamžitě.

Vlhké materiály lze charakterizovat jako systém tvořený absolutně suchou tuhous látkou a kapalinou. Poměr kapaliny a absolutně suché látky materiálu vyjadřuje měrná vlhkost u [-]:

$$u = \frac{m_v}{m_s}$$

kde m_v [kg] je hmotnost kapaliny a m_s [kg] je hmotnost absolutně suché látky [20].

4.3.2 Mikrovlnné sušení

Mikrovlnné sušení je velmi efektivní, neboť přes 90 % vstupující MW energie se přemění na teplo. Podobnou účinnost nelze jiným způsobem ohřevu dosáhnout. Je to dáno tím, že voda je vysoce polární materiál, který velmi dobře absorbuje MW energii.

Při konvenčním ohřevu postupuje teplo z povrchu dovnitř a vlhkost vystupuje zevnitř na povrch, kde se odpařuje. Při hloubkovém působení mikrovln se ohřívá i vnitřek produktu a vlhkost je vytěsňována směrem k místu nižšího tlaku - tedy na povrch materiálu, který je chladný, protože okolní vzduch se mikrovlnami neohřívá.

Využívá toho, že kapalná voda silně absorbuje mikrovlnné záření. V místě absorpce vzniká teplo, které urychluje odpaření vody. Je nutné zabránit lokálnímu přehřátí v důsledku nehomogenit v materiálu a v lokální intenzitě mikrovlnného záření [23]. Ze všech složek základního materiálu mikrovlny téměř výhradně působí na molekuly vody. Klasické sušení může na povrchu kusových produktů vytvořit suchou vrstvu, která přeruší kapilární tok zevnitř materiálu a začne produkt tepelně izolovat, čímž zhorší prostupnost vody materiálem. Naopak při mikrovlnném sušení se suchá vrstva nevytváří, protože voda, která je vypuzovaná z jádra materiálu, udržuje povrch vlhký. Toho lze využít pro vyrovnaní vlhkosti materiálu, pokud je před zpracováním nerovnoměrná. Umožňuje také odstranění poslední kapalné složky a samoregulaci přehřevu na konci sušení [21, 24].

Výhody mikrovlnného sušení se vyznačují:

- vysokou energetickou účinností a rychlým odvodem vody
- velmi přesným řízením tepelných dávek
- v řadě případů není prioritní maximální rychlost odpařování, ale sušení je prováděno při poměrně nízkých teplotách, které postačují k vypařování vody (optimální bývá teplota kolem 60 °C)
- v porovnání s klasickým sušením nedochází při mikrovlnném sušení u teplotně labilních materiálů k degradaci důležitých složek (vitaminy, silice apod.) a tím se nemění ani senzorické vlastnosti
- vysoká rychlost ohřevu v celém objemu
- urychlení chemických reakcí přehřátím reakční směsi
- umožnění provedení reakce při vyšší teplotě bez použití tlaku
- možnost zvýšení selektivity chemických reakcí
- provedení reakcí, které probíhají obtížně za klasických podmínek
- úspory energie [21, 23].

Při sušení plošných útvarů pomocí mikrovln je rozdílná absorpce energie u tenkých a silných materiálů. Čím více materiálu je ohříváno, tím je množství absorbované energie větší, vzniká tedy problém u velmi tenkých tkanin [4]. Samotná vazba tkanin nebo pletenin nevykazuje ve všech místech jednotnou tloušťku materiálu a je tedy značně nehomogenní. To může mít za následek nestejnou vysoušení [21].

Sušení pomocí mikrovln se používá i v dalších odvětvích, nejen u textilu. Je zkoumáno na léčivech, keramice, papíru a dřevu.

5. POLYESTEROVÁ VLÁKNA

5.1 Z historie syntetických a polyesterových vláken

Ze všech syntetických vláken nejzajímavější vývoj měla a mají vlákna polyesterová. Na rozdíl od jiných začínala poměrně skromně – jako náhrada vlny nebo lépe jako vhodná směšová komponenta pro tkaniny určené k vrchnímu ošacení.

I když původně vyšla všechna z jedné kolébky, vyrábějí se dnes v mnoha variantách s rozdílnými vlastnostmi geometrickými, mechanickými a fyzikálně chemickými. Podle toho se také mnohostranně rozšířilo jejich použití a rok od roku stoupá. Polyesterová vlákna pronikla do osobního i ložního prádla, do nejrůznějších bytových textilií, našla bohaté a velmi zajímavé uplatnění v textiliích průmyslových a technických. Stávají se postupně nejvšestrannějším typem syntetického vlákna [25].

Pod pojem polyesterová vlákna se zahrnují vysokomolekulární látky obsahující esterové skupiny v hlavních řetězcích. Polyesterová vlákna jsou vlákna syntetického původu, které byly vynalezeny v Anglii v roce 1941. Dnešní typy polyesterových vláken jsou vyráběny polykondenzací. Obvykle se vychází z dimethylesteru tereftalové kyseliny (nebo z tereftalové kyseliny) a ethylenglykolu. Dimethylester tereftalové kyseliny se reesterifikací etylenglykolem převede na diethylenglykoltereftalát, který je monomerem pro výrobu polyesterového vlákna.

Polyesterová vlákna se vyznačují vysokou pevností i odolností v oděru, velmi dobrou stabilitou tvaru a nízkou mačkavostí. Vlákna jsou výborně odolná vůči působení chemických činidel (kyseliny, redukční a oxidační látky, organická rozpouštědla, daleko méně i hydroxidy). Jsou také odolná vůči působení plísní a mikroorganismů, proti působení slunečního záření i proti účinkům povětrnosti, které způsobují, že výrobky z polyesterových vláken mají přibližně dvojnásobnou užitnou hodnotu než zboží vlněné. Vlákna jsou velmi kompaktní, s vysokým obsahem krystalického podílu, značně hydrofobní, a tím i obtížně barvitelná [26, 27].

Z hlediska ekonomického jsou polyesterová vlákna výhodná jednak pro svou poměrně nízkou cenu, jednak proto, že jejich výrobou se neochuzuje základna pro výrobu potravin [25].

5.1.1 Hospodářský význam polyesterových vláken

Hospodářský význam polyesterových vláken je nutno hodnotit z dvojího hlediska. Jednak ve srovnání s vlákny přírodními, zvláště pokud jde o rozdíly ve způsobu získávání obou druhů vláken, jednak vzhledem k ostatním průmyslově vyráběným vláknům.

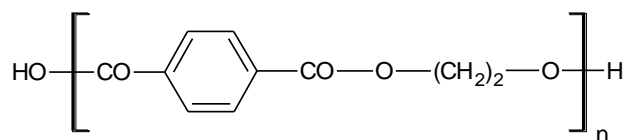
Proti přírodním vláknům mají průmyslově vyráběná vlákna výhody dané rozdílem mezi zemědělskou a průmyslovou výrobou:

1. jejich produkce není závislá na přírodních a klimatických podmínkách
2. neochuzuje potravinovou základnu, neboť surovinou pro jejich výrobu je většinou ropa nebo uhlí
3. vlastnosti a tvar průmyslově vyráběných vláken lze na rozdíl od vláken přírodních měnit podle požadavků textilního zpracování
4. výroba přírodních vláken by nestačila krýt rostoucí poptávku po textilních vláknech
5. chemická vlákna často předstihují svými vlastnostmi vlákna přírodní

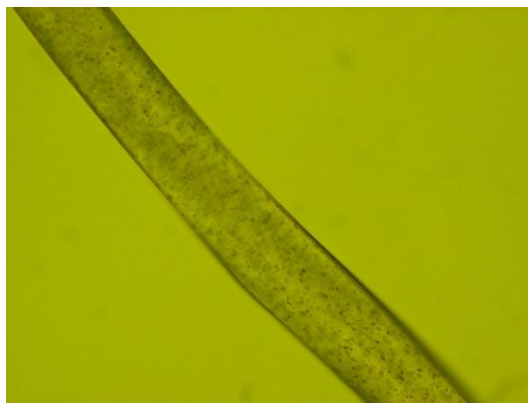
O výhodných vlastnostech průmyslově vyráběných vláken svědčí jejich spotřeba, která roste stále rychleji než počet obyvatelstva zeměkoule. Je to dáno jednak tím, že mají nejvhodnější vlastnosti z hlediska zpracování v textilním průmyslu, jednak velkou užitnou hodnotou konečných výrobků a také příznivou situací z hlediska zajištění surovin [25].

5.2 Chemické složení

Polyestery jsou skupina polymerů, které obsahují esterovou funkční skupinu. Vláknem je lineární makromolekula, jejíž hlavní řetězec $[-CO-O-]$ se sestává nejméně z 85 % z esteru vyrobeného polykondenzací. Klasické typy polyesterového vlákna se připravují z kyseliny tereftalové, resp. dimethyltereftalátu a ethylenglykolu. Jeho základní strukturní jednotka vypadá takto [26, 27]:



Obr. 9 Základní strukturní jednotka [28]



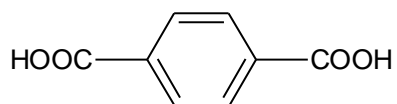
Obr. 10 Polyesterové vlákno 400x zvětšené [28]

5.3 Výroba polyesterových vláken

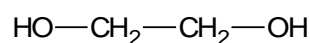
Nejběžnějším polyesterem je polyethyltereftalát. Základní surovinou pro výrobu polyesterových vláken je ropa, ze které se získává dimethyltereftalát a glykol. Polykondenzací obou sloučenin pak vzniká polyethyltereftalát [26].

Výroba polyesterových vláken lze rozdělit do tří výrobních procesů, které zahrnují řadu dalších výrobních operací. Jsou to:

- příprava polykondenzátu, při níž se chemickými reakcemi mění základní suroviny, tj. dimethyltereftalát a ethylenglykol, ve vysokomolekulární polyethyltereftalát s vláknitými molekulami.
- výroba nedlouženého vlákna, při níž se z taveniny polyesteru, získané roztavením drtě nebo přímo z předchozí přípravy polykondenzátu, formují tavným způsobem vlákna, která se navíjejí na cívky nebo ukládají ve volných smyčkách do prostorných košů.
- úprava vlákna pro textilní zpracování, které spočívá v jeho dloužení za tepla a dalších operacích, jež se řídí podle toho, pro jaké textilní výrobky je určeno [25].



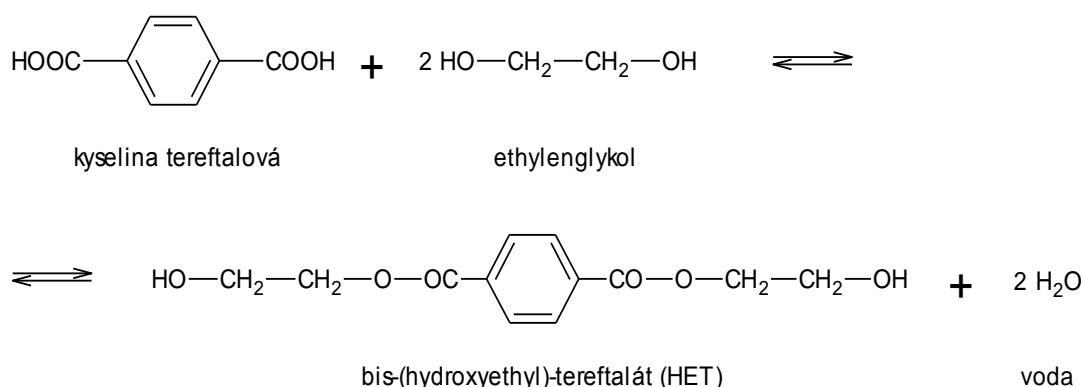
Obr. 11 Kyselina tereftalová



Obr. 12 Ethylenglykol

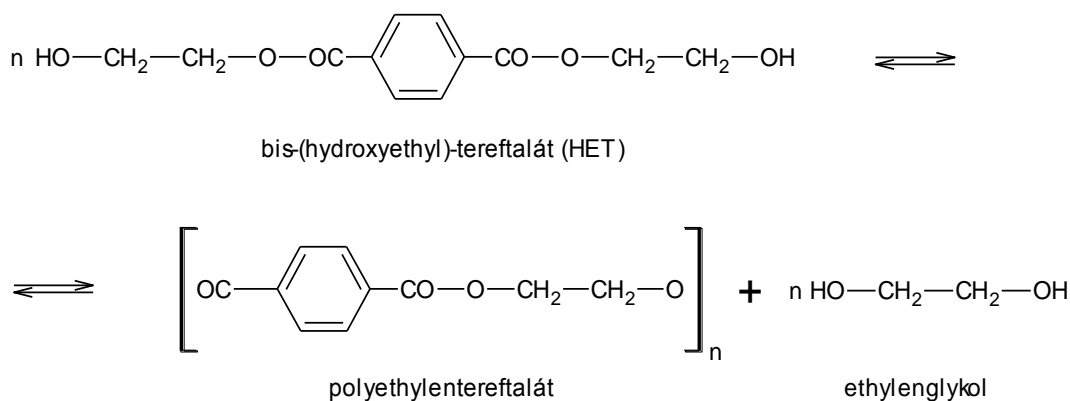
Příprava polykondenzátu je charakteristickým procesem pro vlákna polyesterová. Technologická výroba polyesteru využívá dnes dvojího způsobu:

- přímá esterifikace (obr. 13), kyseliny tereftalové a ethylenglykolu



Obr. 13 Postup výroby HET

- vlastní polykondenzace (obr. 14), při které se molekuly bis – (hydroxyethyl) tereftalátu spojují v dlouhé lineární molekuly polyethyltereftalátu za současného odštěpení molekul ethylenglykolu.



Obr. 14 Postup výroby polyethyltereftalátu

Proces výroby polyethylentereftalátu se zakončuje litím a granulací za účelem umožnění skladování a především snadného dalšího zpracování.

Následuje výroba nedlouženého vlákna z taveniny PES. Zvlákňování lze provádět způsobem kontinuálním nebo diskontinuálním. U diskontinuálního způsobu je nutno nejdříve vyrobit polyesterovou fólii, která se naseká na drť a až poté se taví při 280 – 290 °C, filtruje a zvlákňuje přes zvlákňovací trysky. Při zvlákňování se molekuly a řetězce usměřňují do směru osy vlákna a tím již dochází k přeorientaci, při které vznikají první krystalinity.

Polykondenzát se zvlákňuje do šachty, ve které proudí proti směru pohybu vláken vzduch nastavený na konstantní teplotu a vlhkost. Dochází k laminárnímu proudění a tím ke konstantnímu chlazení všech vláken v kabelu. Výsledkem je nedloužené vlákno s malou orientací řetězců. Poté následuje dloužení.

Dlouží se různým způsobem, buď umístěním elektricky vyhřívané tyčinky mezi odtahovací a dloužící galetu, nebo tak, že se vlákno přivádí do styku s vyhřívanou leštěnou plochou nebo se několikrát vede mezi válci. Polyesterová vlákna se mohou vyrábět různě profilovaná. Po dloužení je fixace.

Jde o tepelnou stabilizaci struktury, jejímž účelem je ustálit rozměry vláken a relaxovat napětí ve vláknech. Podmínkou dobré fixace je plastifikace vláken, které lze docílit buď použitím plastifikačních činidel nebo horkým vzduchem při teplotě 110 – 190 °C. Pro zlepšení zpracovatelnosti vláken, snížení tření a elektrostatického náboje se na vlákna nanáší avivážní prostředky ve formě emulgátoru a povrchově aktivních tenzidů.

Do přádelen se vlákenný materiál dodává buď jako stříž nebo ve formě kabelu, který je zpracován na konvertoru řezáním nebo trháním a vznikají tak staplová vlákna. Tvarování PES vláken se převážně provádí pýchováním nebo tažením přes hranu. Tyto výrobní procesy zakončuje balení [29, 30].

5.4 Struktura polyesterových vláken

Znalosti struktury vláken jsou velmi důležité, protože umožňují předvídat vlastnosti polymeru a také jejich záměrné modifikace. Struktura polymeru je ve srovnání s nízkomolekulárními látkami komplikovanější. Polymery obsahují řetězce stejného chemického složení, avšak různé délky a různých konformací. Také se mohou

jednotlivé řetězce vzájemně seskupovat, takže vytvářejí oblasti s trojrozměrným uspořádáním krystalické, parakrystalické a zcela neuspořádané amorfni oblasti. Tyto oblasti mohou mít různou orientaci vzhledem k ose vlákna.

5.4.1 Molekulární struktura

Řetězce polyesteru jsou lineární s pravidelně se střídajícími částmi kyseliny tereftalové a ethylenglykolu. Jednotlivá benzenová jádra jsou v sousedních řetězcích uspořádána téměř komplánárně, což umožňuje vznik disperzních van der Waalsových sil. Celková velikost sekundárních sil jednotky PES je $1,37 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Z toho na disperzní síly indukované benzenovým jádrem připadá $1,02 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Pevnost polyesteru je tedy dána především tuhostí benzenových jader.

5.4.2 Nadmolekulární struktura

Základní jednotkou struktury všech semikrystalických vláken jsou mikrofibrily. Jejich tloušťka se u PES vláken pohybuje kolem 10 nm a jejich délka je srovnatelná s délkou makromolekulárních řetězců kolem 1 μm . Mikrofibrily jsou tenké dlouhé útvary, které mají v příčném řezu tvar elipsy nebo rovnoběžníku. Samotné fibrily se skládají z periodicky se opakujících úseků amorfniích a krystalických. Délka sousedního krystalického a amorfniho úseku se u všech semikrystalických vláken pohybuje kolem 15 nm.

Jednotlivé mikrofibrily se skládají do svazků – fibril, které jsou vzájemně propojeny mezifibrilárními vaznými řetězci. Vlivem nedokonalosti uspořádání fibrilárních svazků se ve struktuře vyskytují i mezifibrilární amorfni oblasti. Skládají se z vazných řetězců, smyček, volných konců a případně i zapletenin řetězců, které jsou výsledkem plastických deformací při dloužení. Ty významně ovlivňují sorpční a mechanické vlastnosti PES vláken [30, 31].

5.5 Vlastnosti polyesterových vláken

Vlastnosti vláken jsou určeny jejich strukturou chemickou (chemickým složením molekul, přítomností reaktivních a polárních skupin), molekulární (délkou

makromolekuly, její linearitou a pravidelnosti) a nadmolekulární (způsobem vzájemného uspořádání molekul do větších jednotek tvořících struktur vláken).

PES vlákna patří k nejdůležitějším syntetickým vláknům. Pro své vynikající vlastnosti, ke kterým patří zejména výborná tvarová stálost, dobrý vzhled, snadná údržba a možnost různých modifikací vlastnosti, jsou obsažena ve velkém množství výrobků oděvního průmyslu.

Chemická struktura má vliv na významné základní vlastnosti, jako jsou pevnost, bod měknutí, modul pružnosti, elasticita a barvitelnost. Vlastnosti můžeme rozdělit do několika následujících skupin [25].

5.5.1 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti obecně vyjadřují odezvu vláken na vnější síly a deformace. Patří mezi základní charakteristiky, které rozhodují o vhodnosti vláken pro textilní aplikace. Ovlivňují jak průběh textilního zpracování, tak značnou část užitných vlastností textilních výrobků.

Mezi mechanickými vlastnostmi polyesterových vláken patří pevnost, tažnost, elasticita a odolnost proti oděru. Jsou závislé na přípravě vláken a obecně jsou velmi dobré [25, 30].

- pevnost 3,8 – 7,2 cN.dtex⁻¹
- tažnost 50 – 70 %
- pevnost mokrá ze suché 100 %
- tažnost mokrá 19 – 23 %
- elastické zotavení 85 – 90 %
- měrná hmotnost 1360 – 1380 kg.m⁻³
- polymerační stupeň 100 – 150

5.5.2 Termické vlastnosti

Termické vlastnosti jsou důležité pro volbu vhodných parametrů zpracování nebo použití vláken. Jejich funkcí je popisovat vlastnosti v procesu tepelného působení, při kterém dochází také ke změnám struktury. Vlákná vytvořená z lineárních polymerů mohou při odnímání nebo dodávání tepla prodělat tedy vratné i nevratné změny struktury, které ovlivňují příznivě nebo nepříznivě řadu dalších vlastností.

Polyesterová vlákna mají výbornou odolnost vůči teplotě. Jsou prakticky nehořlavá a v plameni se zabarvují do hněda za vzniku sazí a charakteristické vůně.

- teplota zesklenní 77 – 80 °C
- teplota měknutí 230 °C
- teplota tání 256 °C
- hořlavost LOI: 20,6 %
- 120 -130 °C pevnost beze změny
- 180 °C pevnost klesá na 50 % za několik dní
- navlhavost 0,4 % [25, 30, 32]

5.5.3 Chemické vlastnosti

Chemické vlastností jsou ovlivněny složením a strukturou polyesterových vláken. Z hlediska chemických vlastností je možno považovat polyesterová vlákna za velmi odolná, zvláště ve srovnání s ostatními obvyklými textilními surovinami. Vůči kyselinám jsou polyesterová vlákna dobře stálá s výjimkou koncentrovaných kyselin, popř. kyselin působících za vyšší teploty. Menší stálost mají chemicky modifikované typy. Též vůči zředěným alkáliím je stálost dostatečná, s výjimkou roztoku amoniaku. Postupné odbourání vlákna z povrchu roztoky alkalických hydroxidů za studena se někdy využívá k zjemňování textilních výrobků z polyesterových vláken. Současně se získává i matný efekt.

Také proti oxidačním i redukčním prostředkům vykazují značnou stálost. Jsou stále v běžných rozpouštědlech. Organická rozpouštědla používaná pro chemické čištění vlákna také nepoškozují. Vadí pouze chloroform za vyšší teploty, vlákna rozrušuje a vyvolává srážení. Pro chemické čištění musí být polyester dobře fixován. Rozpouští se pouze za tepla v některých derivátech benzenu, popř. v jejich roztocích s chlorovanými uhlovodíky jako je krezol, nitrobenzen, fenol apod. Vlákná jsou odolná proti mikroorganismům, plísním a molům [33, 34].

5.6 Barvení polyesterových textilií disperzními barvivy

Pro barvení polyesteru mají největší význam vybraná disperzní barviva, která poskytují jasné a stálé odstíny. Z dalších skupin se mohou použít některá kypová barviva s menší molekulou. Omezený význam mají i indigosoly a pigmenty.

Vlákna z polyesteru na bázi ethylenglykolu a kyseliny tereftalové přijímají barvivo nejpomaleji z běžně používaných syntetických vláken. Difúzní rychlost je závislá jednak na stavu vlákna, jednak na stavu barviva. Ze strany vlákna je nutno, aby se uvolnila jeho struktura natolik, aby do vlákna mohly molekuly barviva vstoupit. Rychlost difúze barviva rozhoduje o rychlosti jeho fixace, neboť povrch vlákna je barvivem rychle saturován a nemůže přijímat další barvivo, dokud se barvivo z povrchových vrstev neodsune dále dovnitř vlákna [35, 36].

Nejuniverzálnější a také nejrozšířenější skupinou pro barvení polyesterového vlákna jsou barviva disperzní. Proces barvení disperzními barvivy lze rozdělit na:

- rozpouštění pevného barviva ve vodě
- difúzi barviva z roztoku k povrchu vlákna
- adsorpci barviva na povrchu vlákna
- difúzi barviva dovnitř vlákna

Disperzní barviva nemají iontový charakter a jejich rozpustnost ve vodě je velmi nízká. Prakticky není možné připravit vodný roztok v dostatečné koncentraci pro barvení, proto musí být vždy k dispozici zásoba tuhého, nerozpouštěného barviva v lázni (mikrosuspenze), která doplňuje úbytek barviva, pokud jeho koncentrace klesne pod koncentraci nasyceného roztoku při dané teplotě. Polyester působí jako tuhé rozpouštědlo pro disperzní barvivo, které je s monomolekulárně rozpouštěným barvivem v lázni v rovnováze (Nernstův rozdělovací zákon). Difúze barviva dovnitř vlákna je považována za nejpomalejší fázi, určující rychlost celého procesu barvení.

Disperzní barviva dělí většina výrobců podle koloristických vlastností (difúzního koeficientu, sublimačních stálostí, egalizace atd.) do dvou základních skupin s eventuálními mezičládky. Na jedné straně jsou to barviva s vysokým difúzním koeficientem, která snadno pronikají do vlákna, dobře egalizují, avšak mají průměrné stálosti ve fixaci; na druhé straně barviva s nízkým difúzním koeficientem, která jsou

obtížněji aplikovatelná, ale mají vynikající stálosti ve fixaci. S těmito vlastnostmi úzce souvisí možný výběr barvicí metody.

Způsoby barvení disperzními barvivy (vytahovací a klocovací postupy) lze rozdělit takto:

1. barvení za varu bez přenašeče
2. barvení za varu s přenašečem
3. barvení při vyšších teplotách (105 až 120 °C) s přenašečem
4. barvení při vyšších teplotách (120 až 135 °C) bez přenašeče
5. barvení Termosol

1. Barvení polyesterových vláken za varu bez přenašeče

Je možné jen pro světlé odstíny, z hlediska využití barviv je ekonomicky nevýhodné. Postup je zastaralý, téměř nepoužívaný. Technologie odpovídá barvení s přenašečem.

2. Barvení polyesterových vláken za varu s přenašečem

Barvení za varu je málo účinné, neboť energie molekul barviva nedostačuje k dostatečné rychlé difúzi ve vlákne. Proto se musí vlákno přechodně plastifikovat pomocí přenašečů. Lepších výsledků lze dosáhnout za teplot barvení vyšších než 100 °C, kdy dochází k výraznějšímu rozvolnění struktury polyesterových vláken (vytváření větších volných objemů) a zvyšuje se difúze barviva do vlákna. Rychlost barvení se zvyšuje s teplotou exponenciálně [37, 38].

Přenašeče jsou látky usnadňující pronikání disperzního barvení do vlákna. Nároky na přenašeče jsou vysoké a žádný dosud známý přenašeč nesplňuje všechny požadavky, jež jsou na něj kladeny.

Používané přenašeče jsou většinou poměrně toxické, a proto se od jejich použití postupně upouští – především to platí o derivátech fenolových, bifenylových i o chlorovaných aromatických látkách. Z důvodů ekologických i ekonomických se výrobci vláken snaží o modifikaci vláken barvitelných při teplotách do 100 °C bez přenašeče.

3. Barvení polyesterových vláken při vyšší teplotě s přenašečem

Přidání přenašeče do barvicí lázně při vyšších teplotách umožňuje:

- a) Lepší využití disperzního barviva. Je-li materiál barven při teplotě nižší než 120 °C, zlepšuje se přidavkem přenašeče stupeň využití barviva. Platí, že čím vyšší je teplota barvení, tím nižší je dávkování přenašeče.

Tato metoda se používá především:

- při barvení směsí PES/vlna při 105 až 106 °C
- při barvení tvarovaného PES
- při barvení PES na křížových cívkách, kde je srážení materiálu při nižších teplotách nižší.

- b) Vyrovnávání afinitních nerovnoměrností vlákna. Přídavek přenašeče ztrácí svůj prvotní význam, tj. zvyšování procenta využití barviv a jeho působení se přesouvá do oblastí egalizační a migrační. Dávkování přenašeče pro tyto účely je nižší. Předávkování vede k retardaci barviva v lázni.

4. Barvení polyesterových vláken při vyšších teplotách bez přenašeče

Při barvení za vyšších teplot se zkracuje barvicí čas, zlepšuje se probarvení vlákna, zvyšuje se využití barviva, dosahuje se vyšších stálostí a rovněž odpadá mnohdy obtížné odstranění zbytků přenašeče po barvení. Platnost pravidla, že čím vyšší je teplota barvení, tím rychlejší je difúze barviva do vlákna, je omezena hydrolytickou degradací polyesterového materiálu; teplota by neměla přesáhnout 135 °C. Výběr barviv není omezen difúzními vlastnostmi, proto lze použít celé škály vyráběných disperzních barviv [35].

5. Barvení polyesterových vláken takzvaným termosolovým způsobem

Při tomto způsobu barvení se polyesterová textilie klocuje suspenzí disperzního barviva a po usušení se vystaví 30 – 90 sekund teplotám 180 – 220 °C. Při tomto tepelném šoku (termosolaci) dochází k velmi rychlé difúzi a absorpci barviva do nitra vlákna. Jedná se o rozpouštění barviva ve vlákne, které probíhá zvláště rychle díky tomu, že vlákno je v poloplastickém stavu [38, 39].

5.7 Barvení polyesterových textilií mikrovlnami

Výhody mikrovlnné techniky při zpracování textilních materiálů jsou v posledních letech stále více zkoumány a jejich pozitivní výsledky jsou často používány v praxi. Jedna z hlavních výhod při použití mikrovlnné energie, která je využívána i při barvení textilního materiálu především pak polyesterové textilie, je dosažení vysokých teplot během krátkého času, což je při barvení těchto textilií nezbytně nutné.

Polyesterové textilie se barví disperzními barvivy, která se aplikují z jemných vodních suspenzí docilovaných pomocí dispergátoru. Difúze barviv do nitra vláken je nízká, protože polyesterové vlákna mají vysokou krystalinitu a jejich orientace způsobuje těsné uspořádání makromolekul. Tato difúze se může projevit až nad teplotou skelného přechodu polyesteru, která se ve vodním prostředí pohybuje kolem 75 – 80 °C [40]. Jedním ze způsobů jak tuto teplotu překonat rychleji a účinněji, aby mohlo dojít k uvolnění struktury vláken a k zvýšení kinetické energie molekul barviva, je mikrovlnná energie. Ta působí selektivně hlavně na vlhkost (vodu, barvy, rozpouštědla). Tak se dosahuje rovnoměrného vysušení přesně na požadovanou hodnotu vlhkosti rychle a velmi šetrně, protože, jak již bylo zmíněno, při působení mikrovlnné energie se ohřívá vnitřek produktu a vlhkost je vytěšňována směrem k místu nižšího tlaku, tedy na povrch materiálu. Ten je chladný, protože okolní vzduch se mikrovlnami neohřívá. Nejvyšší teplota je uvnitř materiálu a klesá směrem k povrchu, což zabraňuje vytvoření suché vrstvy na povrch materiálu [23].

Při barvení textilií mikrovlnami se využívá toho, že kapalná voda silně absorbuje mikrovlnné záření. V místě absorpce vzniká teplo, které urychluje odpaření vody.

Mikrovlnný ohřev má několik možných výhod v textilním zpracování. Nahrazení konvenčních termických metod může mít za následek rychlejší a rovnoměrnější ohřev textilie. Také zpracovatelské stroje vyžadují méně prostoru [41].

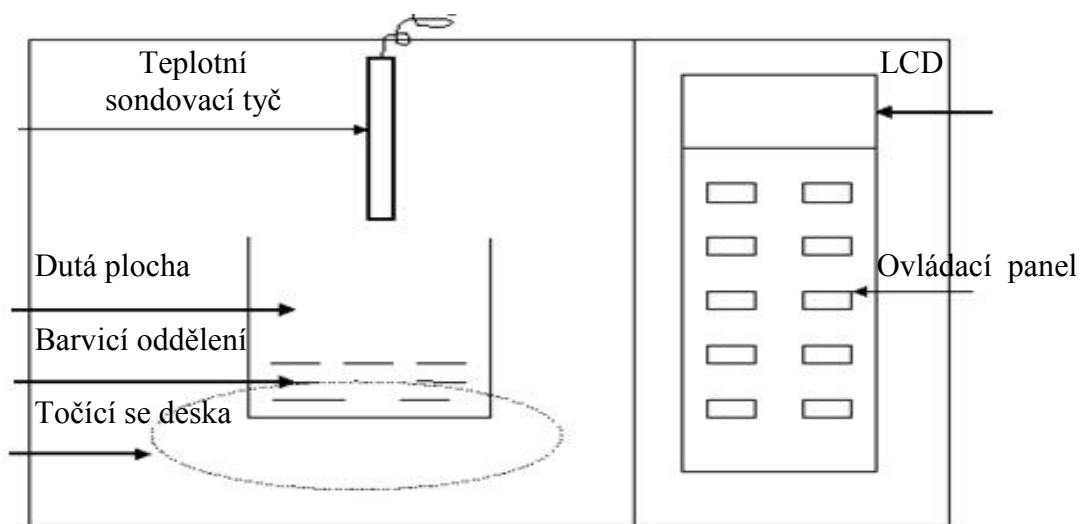
V zahraničí je barvení za pomoci mikrovlnného záření studované mnohem hlouběji než u nás. Každá studie je ojedinělá v složení lázně a úpravou mikrovlnného reaktoru. Ovšem výsledky všech studií dokazují, že barvení textilního materiálu mikrovlnnou energií je rychlejší. Efektivnost procesů s mikrovlnným ohřevem a snížení zátěže životního prostředí je předpokladem dalšího rozšíření této technologie.

Studie, která se zabývá barvením polyesterových vláken mikrovlnným ohřevem dokazuje, že absorpce barviva je mnohem rychlejší, než je tomu při barvení

konvenčním teplem. Polyester byl barven disperzními barvivy jak mikrovlnným ohřevem, tak i konvenčním vodivým teplem při různých teplotách. Při barvení mikrovlnným ohřevem bylo zjištěno, že mikrovlnné záření proniká dovnitř materiálu mnohem rychleji, snižuje T_g polymeru, což umožňuje rychlé proniknutí molekuly barviva dovnitř vlákna. Další výhodou použití mikrovlnného ohřevu je rovnováha teploty uvnitř materiálu, která je dosažena během několika málo minut [42].

Při dalším experimentu bylo zaznamenáno, že hydrolyzující látka polyesteru, která byla ozařovaná mikrovlnami, ztrácí na hmotnosti se stoupající intenzitou mikrovln a zvýšením koncentrace hydroxidu sodného. Se stoupající váhovou ztrátou hydrolyzujícího polyesteru byla pozorována i zvýšená úroveň absorpce barviva [43].

Při sledování efektu mikrovlnného ohřevu na dobu barvení a absorpce barviva, bylo zjištěno, že při použití této metody je možné snížení barvicího času až o polovinu, bez ohledu na to o jaký materiál se jedná. Při této studii byly vzorky polyesteru barveny ve speciálně upraveném mikrovlnném reaktoru, který je znázorněn na obrázku 15. Kromě obvyklých přísad barvicí lázně byla použita i kyselina octová. Po obarvení se vzorky vypraly a následně testovaly. Testování obarvených vzorků bylo prováděno na přístroji Spektrofotometru 2180, kde byli měřeni K/S hodnoty.



Obr. 15 Schematický diagram mikrovlnné sušárny

Tato studie dokazuje, že vzorky které byly barveny ve speciálně vytvořené mikrovlnné sušárně, vykazují vyšší K/S hodnoty. Dále byla zkoušena i stálobarevnost v otěru, která také dává lepší výsledky než při barvení konvenčním způsobem [13].

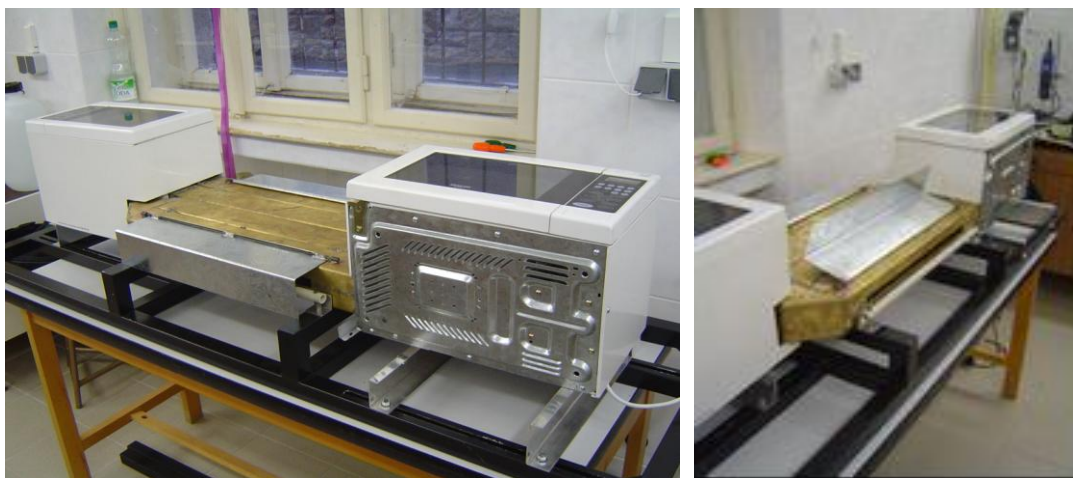
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6.1 Popis experimentu

Cílem experimentální části bylo sledovat egalitu vybarvení polyesterových textilií disperzními barvivy pomocí následně popsanych mikrovlnných zařízení, zjištění optimální teploty a složení lázně na dostatečně syté a egální vybarvení. Dále byla snaha optimalizovat možnost komerčního využití při barvení textilií.

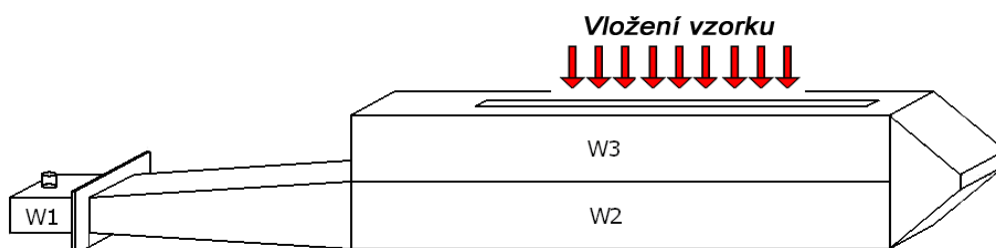
6.2 Popis experimentálního zařízení

K experimentu byla použita dvě mikrovlnná zařízení. První zařízení, kterého dále budeme nazývat štěrbina (viz obr. 16), je zařízení staršího typu na kterém bylo prováděno měření již dříve. Toto zařízení bylo původně navrženo jako soustava o jedné mikrovlnné troubě a jednom aplikátoru. Později se model rozrostl o další jednotku, umístěnou zrcadlově k původní. V mikrovlnné troubě je zdrojem vysokých výkonů magnetron. Na něj navazuje aplikátor, v tomto případě vlnovodový, který slouží k vedení elektromagnetického záření. Aplikátor je tvořen dvěma úseky vlnovodu, které tvoří tzv. meandrové uspořádání. V širší stěně vlnovodu je podlouhlá štěrbina, kterou prochází textilie. Tato štěrbina je umístěna přesně uprostřed, protože zde je intenzita elektromagnetického pole nejvyšší. Oba systémy fungují na frekvenci 2,45 GHz a jako generátory mikrovlnné energie využívají magnetrony z komerčních mikrovlnných trub.



Obr. 16 Celková soustava – štěrbina

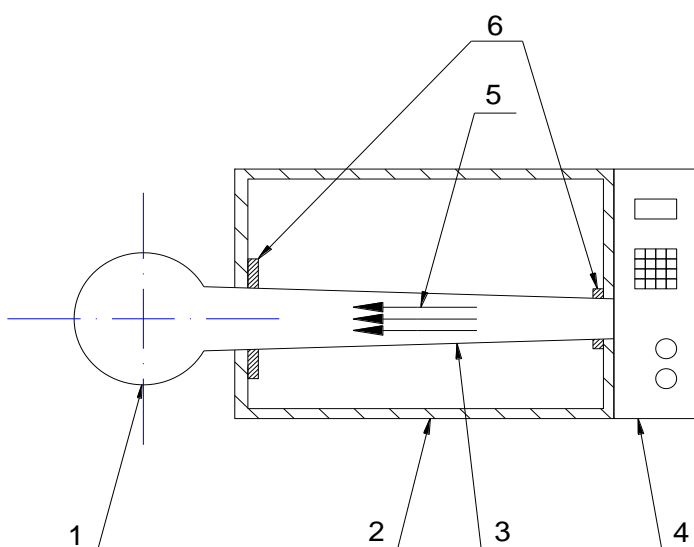
Celkový příkon jednoho zařízení je 930 W. Maximální výkon reaktoru není přesně stanoven, ale s ohledem na nízkou účinnost generátoru, spotřebě energie v podpůrných systémech a ztrátách mikrovln ve vlnovodu, jej lze odhadovat řádově na 100 - 200 W [44].



Obr. 17 Schéma vlnovodu

Vlnovod W1 je přímo napojen na magnetron mikrovlnné trouby. Mezi vlnovody W2 a W3 je otvor pro vkládání textilie.

Druhé použité zařízení (viz obr. 18) při našem experimentu je zcela nové a bylo navrženo tak aby obarvovaný vzorek rotoval. Sestává se ze dvou základních částí. Upravené mikrovlnné trouby doplněné o mosazný válec s vlnovodem.



Obr. 18 Schéma mikrovlnného válce

(1 – mosazný válec, 2 – mikrovlnná trouba, 3 – vlnovod, 4 – ovládací panel, 5 – mikrovlnné záření, 6 – izolace vlnovodu)

Vlnovod proniká skrze mikrovlnnou troubu a vede od zdroje záření k válci. Ten je stejně jako vlnovod vyroben z mosazi. Profil vlnovodu je podélného jehlanovitého tvaru s vrcholem u generátoru vln (viz obr. 18).

6.2.1 Vyzařování soustavy

I když bylo zařízení konstruováno s požadavkem minimálních úniků mikrovlnného záření, přece jen k nim dochází. Proto bylo provedeno měření pomocí digitálního analyzátoru elektrosmogu HF32D. K únikům dochází v místech, kde vlnovod protíná stěny mikrovlnné trouby a napojuje se na válec. Tato místa byla odizolována hliníkovou fólií (viz obr. 18).

6.3 Použitý materiál

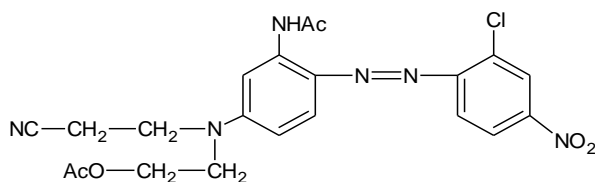
Barvení bylo prováděno na 100 % polyesterové tkanině plátnové vazby o plošné hmotnosti 170 g.m^{-2} . Tkanina byla poskytnuta od firmy Licolor a.s. Liberec, která se vyskytuje pod obchodním názvem Tina.

6.4 Použité barvivo

Na barvení polyesteru bylo použito disperzní barvivo od švýcarského výrobce firmy CLARIANT. Obchodní název těchto barviv je FORON a jsou řazeny do podskupiny S.

Vyznačují se:

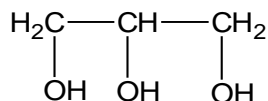
- velmi dobrými stálostmi sublimaci
- ve vodě nepatrně rozpustná – disperze s vhodným dispergátorem
- vytvoření tzv. tuhého roztoku na vlákne
- neomezenou kombinovatelnost s ostatními barvivy



Obr. 19 Foron Brilliantrot S-RGL

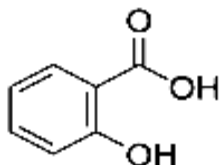
6.5 Použité chemikálie

Glycerol neboli glycerín – trojsytný alkohol se systematickým názvem propan-1,2,3 - triol, je hygroskopická bezbarvá viskózní kapalina bez zápachu, sladké chuti. Je důležitou biogenní organickou sloučeninou, neboť je ve formě svých esterů součástí tuků [45].



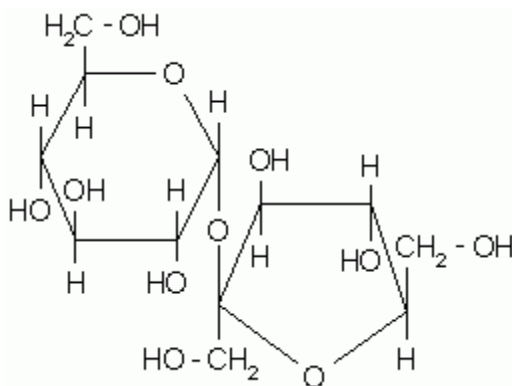
Obr. 20 Glycerol

Kyselina salicylová – je aromatická karboxylová kyselina. Za normální teploty je to bílá krystalická látka, mírně rozpustná ve vodě na slabě kyselý roztok [46].



Obr. 21 Kyselina salicylová

Sacharóza (cukr) – po chemické stránce patří sacharóza mezi sacharidy. Sacharidy jsou organické sloučeniny patřící do skupiny aldehydů nebo ketonů. Skládá se z jedné molekuly glukózy a jedné molekuly fruktózy. V čistém stavu je sacharóza bílá krystalická látka sladké chuti [47].



Obr. 22 Sacharóza

6.6 Použitá zařízení

6.6.1 Měření barevnosti

Hodnocení změny barevnosti vzorků bylo provedeno na přístroji DATACOLOR 3890, na kterém byly naměřeny remisní hodnoty vzorků, které pomocí Kubelka – Munkovi funkce byly převedeny na K/S hodnoty:

$$K/S = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{(2 \cdot R_{\infty})}$$

K koeficient absorpce [-]

S koeficient rozptylu [-]

R_{∞} stupeň remise [-] [48]

6.6.2 Laboratorní Fulár

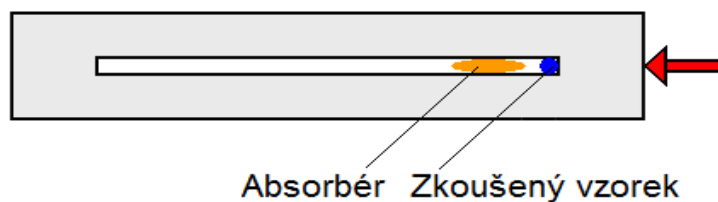
Fulár byl použit na odmačknutí vzorků před vložením do mikrovlnného válce a šterbiny. Rychlost byla nastavena na 3 m.min⁻¹ s přítlakem 3 atmosféry.

6.7 Použití absorbéru

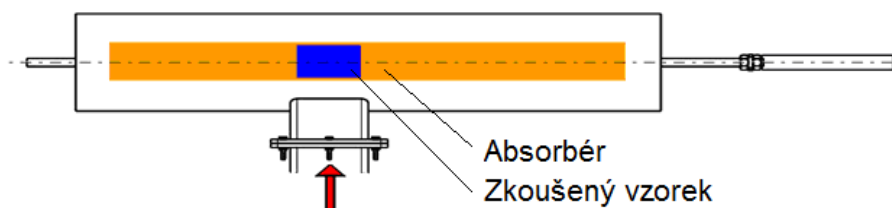
Při všech pokusech bylo využito absorbéru, který zabraňuje zničení magnetronu a má pozitivní vliv na egálnější vybarvení. Jako absorbér mikrovlnného záření byl použit velmi objemný textilní materiál. Tento materiál se smočil ve vodě a odmačknul tak, aby jeho mokré přivažek byl při všech expozicích přibližně stejný. Mokrý přivažek neboli stupeň odmačku je definován jako množství nanesené barvicí lázně vyjádřené v procentech z hmoty vzduchosuché textilie.

$$MP_{absorbantu} = \frac{m_m - m_s}{m_s} * 100 = \frac{23,13 - 11,08}{11,08} * 100 = 109 \%$$

Následující schémata znázorňují jak vkládání vzorku do šterbiny, tak i do mikrovlnného válce.



Obr. 23 Schéma umístění absorbéru a zkoušeného vzorku na štěrbině



Obr. 24 Schéma umístění absorbéru a zkoušeného vzorku v MV

Po obarvení jak na štěrbině, tak v mikrovlnném válci byly vzorky vyprány v alkalicko – redukční lázni, která obsahovala 5 g/l NaOH a 5 g/l $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ při teplotě 70 °C, po dobu 5 minut.

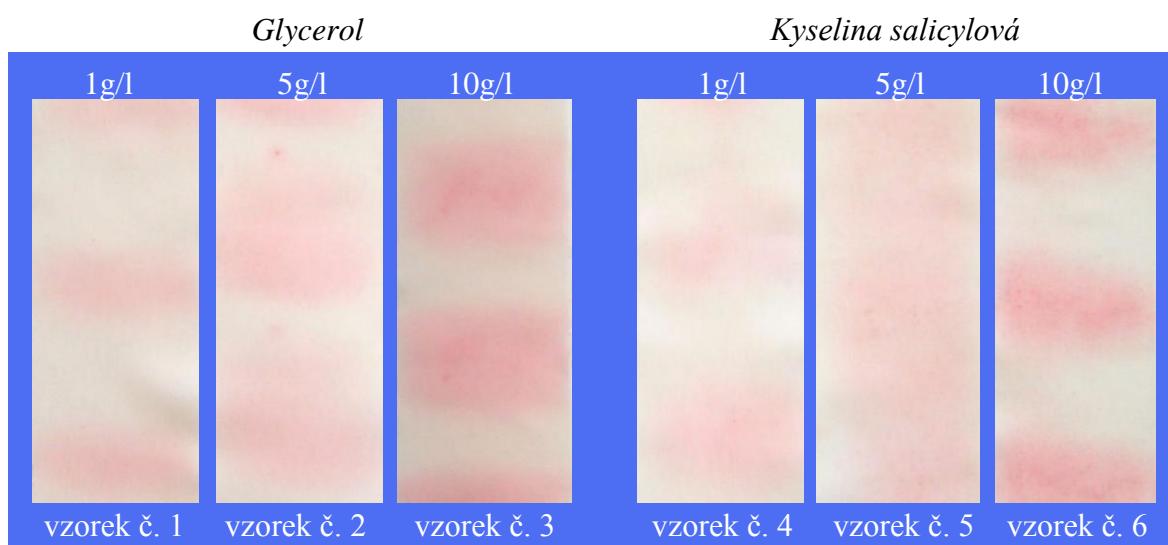
6.8 Pracovní postup barvení polyesterové tkaniny

Při prvním pokusu se vzorky vkládaly do štěrbině (viz obr. 17), kde se zjišťoval potřebný čas na zajištění fixace barviva na tkanině a rovněž vliv různého množství přidaných přenašečů. Příprava vzorku probíhala následovně:

Vzorek polyesteru o velikosti 400 x 50 mm se naklocoval barvicí lázní. Ta obsahovala 20 g barviva na 1 l vody. Jako přenašeč byla použita kyselina salicylová o různé koncentraci a dále ještě bylo zkoušeno různé množství přídavku glycerolu (viz obr. 25). Glycerol byl použit, aby při pokusu došlo ve vzorku k vyvinutí vyšší teploty potřebné k obarvení polyesteru a dále aby byl vzorek v kontaktu s kapalnou fází. Po naklocování barvicí lázně se vzorek vždy odměčknul na laboratorním fuláru za konstantní rychlosti a tlaku.

1. Vliv doby expozice MVZ a různé množství přenašečů na šterbině

Vzorky u tohoto pokusu byly navíjeny na skleněnou tyčinku a vkládaly se do šterbiny (viz obr. 17) mikrovlnného reaktoru hned na počátek. Pro uchycení textilie na skleněnou tyčinku byla použita silikonová hadice o průměru 12 mm a délce 80 mm, která byla po celé svojí délce rozříznutá. Jeden okraj textilie se přeložil přes tyčinku a přes takto přeloženou textili se navlékla rozříznutým místem silikonová hadice. To zajistilo správné uchycení textilie v celé její šířce. Potom už se textilie navinula do nábalu a fixovala nití, aby nedošlo k rozmotání vzorku během pokusu.



Obr. 25 Vliv doby expozice MVZ a různé množství přenašečů na šterbině (viz tab. 2)

Tab. 2 (viz obr. 25)

Vliv doby expozice MVZ a různé množství přenašečů na šterbině						
vzorek	1	2	3	4	5	6
mokrý přívažek [%]	62	61	63	62	64	65
doba barvení – expozice MVZ [s]	30	50	70	30	50	70
K/S max. při vlnové délce 520 nm	0,23	0,32	0,37	0,12	0,21	0,31

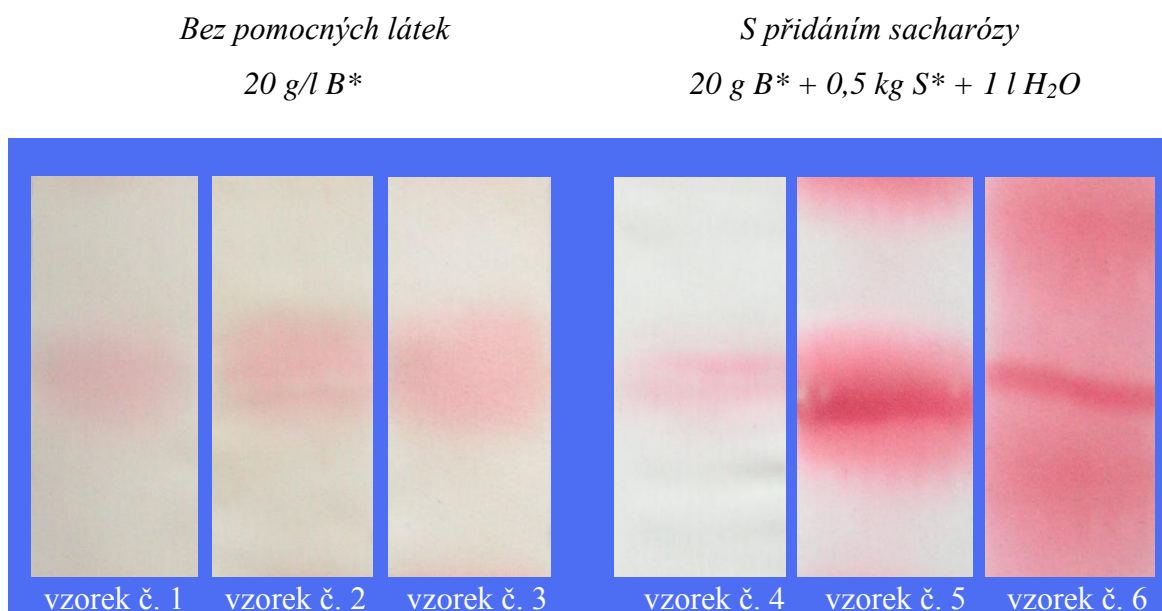
Při porovnání vlivu doby expozice MVZ a množství použitých přenašečů bylo zjištěno, že použité množství kyseliny salicylové nijak výrazně neovlivňuje sytost výsledného barvení, což se nedá říci o glycerolu, u něhož výsledná kvalita vybarvení

vzrůstá s jeho koncentrací a časem (obr. 25). Z tabulky č. 2 je vidět, že se zvyšující se koncentrací kyseliny salicylové a glycerolu se zvyšuje K/S hodnota.

Stejný postup přípravy vzorků byl proveden při barvení polyesteru bez přidavku pomocných látek – obr. 26 (vzorky 1,2,3) a také s přidavkem sacharózy (vzorky 4,5,6). Sacharóza byla použita proto, aby při pokusu došlo ve vzorku k dosažení vyšší teploty potřebné k obarvení polyesteru.

Na snímku v částech 1 – 3 (obr. 26) je výsledek barvení bez použití pomocných látek, což dokazuje, že barvení polyesteru bez použití přenašečů nepřináší kýžený výsledek.

V částech 4 – 6 (obr. 26) byla do barvicí lázně přidána sacharóza, která výrazně ovlivnila fixaci barviva, vzrůstající s časem působení na vzorek.



Obr. 26 Vliv doby expozice MVZ a množství sacharózy – na šterbině (viz tab. 3)

Tab. 3 (viz obr. 26)

Vliv doby expozice MVZ a množství sacharózy						
vzorek	1	2	3	4	5	6
mokrý přivažek [%]	62	61	61	98	94	95
doba barvení - expozice MVZ [s]	30	50	70	30	50	70
K/S max. při vlnové délce 520 nm	0,17	0,16	0,15	0,10	1,56	1,97

Z tabulky č. 3 je patrná výrazně vyšší hodnota K/S vzorků č. 5 a č. 6.

2. Vliv působení glycerolu a sacharózy v mikrovlnném válci

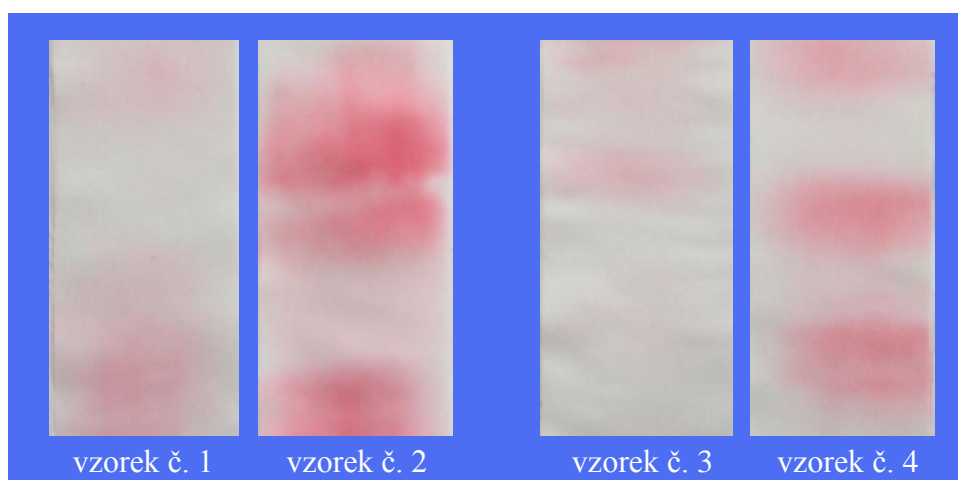
Vzorky se připravovaly stejným způsobem jako v předchozím případě. Opět byla použita silikonová hadice pro uchycení naklocovaného materiálu na mosaznou tyč. Připravené vzorky v nábalu se pak vkládaly do mikrovlnného válce.

Po vložení vzorku do zařízení se na vzorek působilo mikrovlnami po dobu 50 a 70 sekund, při tom se vzorkem točilo cca 1 ot/sec.

$$20 \text{ g } B^* + 100 \text{ g } G + 1 \text{ l } H_2O$$

$$20 \text{ g } B^* + 1 \text{ kg } S^* + 1 \text{ l } H_2O$$

$$V_c = 1,675 \text{ l}$$



Obr. 27 Vliv působení glycerolu a sacharózy (viz tab. 4)

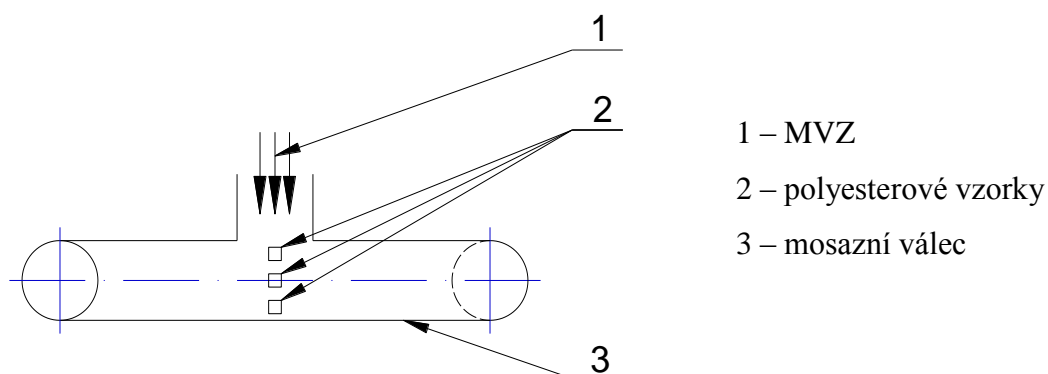
Tab. 4 (viz obr. 27)

Vliv působení glycerolu a sacharózy				
vzorek	1	2	3	4
mokrý přivažek [%]	91	93	96	98
dobu barvení – expozice MVZ [s]	50	70	50	70
K/S max. při vlnové délce 520 nm	0,05	1,43	0,07	0,26

Předchozí snímky zobrazují rozdílnost působení glycerolu a sacharózy. U prvních dvou vzorků (kvalitnějších) byl použit glycerol. Následné dva vzorky (horší kvality) byly barveny za působení sacharózy. Z tabulky je zřejmá i závislost kvality výsledku na době expozice MVZ. Vzorek č 2 byl probarven nejvíce, tedy i hodnota K/S je ve srovnání s ostatními výrazně vyšší.

3. Vliv polohy vzorků v mikrovlnném válci

Z předchozích pokusů je zřejmé, že při přichycení vzorku za pomoci silikonové hadice nebo za pomoci laboratorní tyčinky se egálního vybarvení nedosáhne, proto při následujících pokusech byla hledána místa, kde mikrovlny působí na materiál s největší intenzitou. Vzorky se vkládaly v různých polohách (viz obr. 28). Při tom bylo zjištěno, že místa s největším ohřevem, v nichž dochází k nejintenzivnějšímu probarvení, se nachází ihned na počátku spojení vlnovodu se speciálně upraveným válcem, a uprostřed válce, kudy prochází mosazná tyč. Vyšší teplotu na počátku spojení vlnovodu s válcem je zřejmá z jeho polohy v ohnisku ústí vlnovodu. Důvodem dosažení vysoké teploty uprostřed mikrovlnného válce je pravděpodobně rozptýlení stojatého vlnění ve vlnovodu, dopad na stěny válce a odraz do jeho centra. Proto bylo nutné najít způsob vkládání vzorku tak, aby se zkoušený vzorek nacházel v místě s největší intenzitou mikrovlnného záření a aby došlo k co nejvíce egálnímu vybarvení.

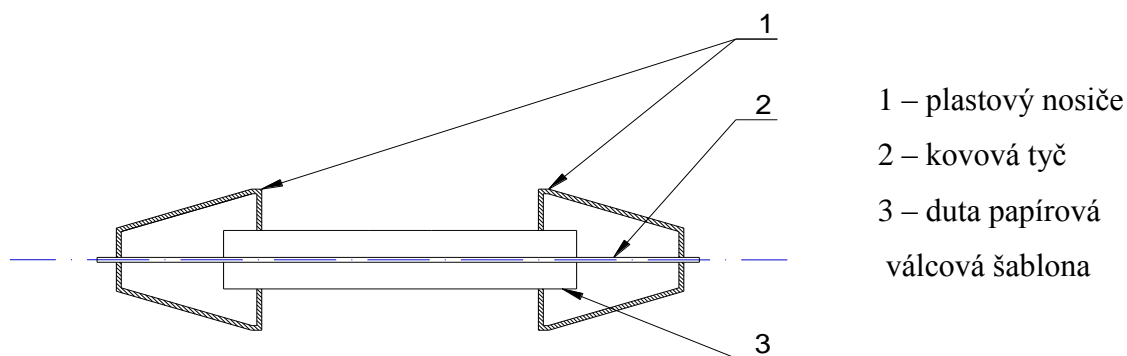


Obr. 28 Vliv polohy vzorků v mikrovlnném válci

4. Vkládání vzorku do mikrovlnného válce

Předchozí zjištění bylo prakticky využito při dalším postupu. Do mikrovlnného válce, jehož středem byla vedena podélná osa (mosazná tyčovina), na které byla připevněna nosná papírová válcová šablona, se namotávaly vzorky. Vyzkoušením různých průměrů této šablony (32, 50 a 67 mm) bylo zjištěno, že nejvýhodnější pro rovnoměrné vybarvení je průměr 50 mm. Tato šablona byla na obou stranách zajištěna

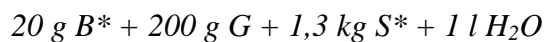
plastovým nosičem, aby se zabránilo kontaktu s tyčevinou a aby byla možná rotace vzorků (viz obr. 29). Každý vzorek byl proti uvolnění při rotaci fixován nití.



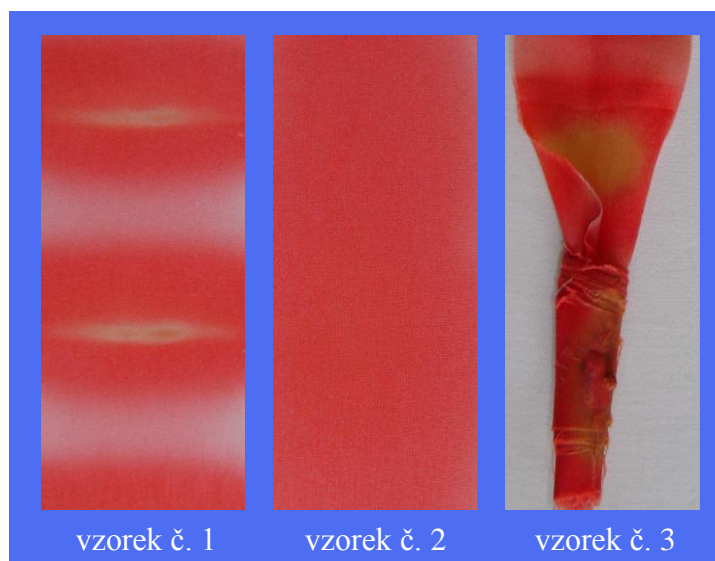
Obr. 29 Vkládání vzorku do mikrovlnného válce

5. Porovnání doby expozice MVZ v mikrovlnném válci a štěrbině v závislosti na obsahu sacharózy a glycerolu v barvicí lázni

Při tomto pokusu se vzorky vkládaly jako u předešlých experimentů (tj. do štěrbin mikrovlnného reaktoru, byla použita laboratorní tyčinka se silikonovou hadicí a do mikrovlnného válce byla pak použita nosná papírová válcová šablona o průměru 50 mm).



$$V_c = 1,795 \text{ l}$$



Obr. 30a Porovnání doby expozice MVZ v mikrovlnném válci a štěrbině s větší koncentrací sacharózy a glycerolu (viz tab. 5)

Tab. 5 (viz obr. 30a)

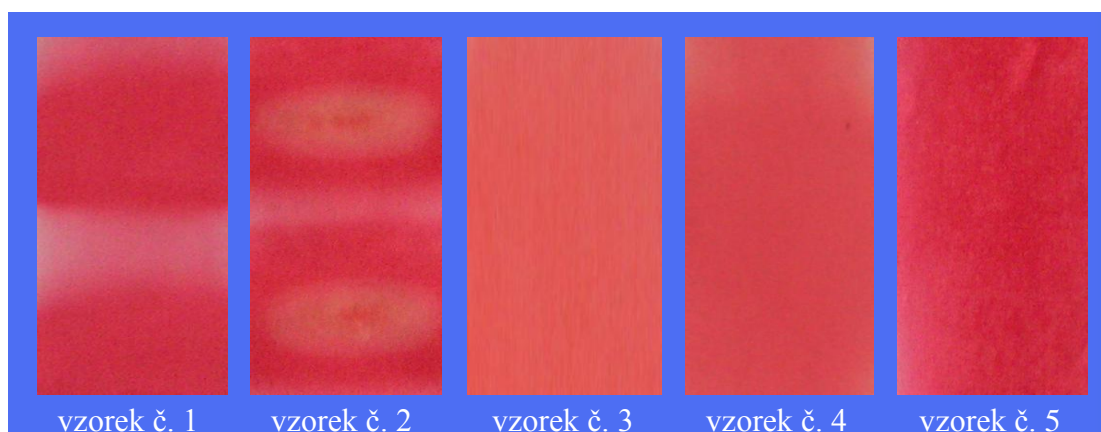
Porovnání doby expozice MVZ v mikrovlnném válci a štěrbině s větší koncentrací sacharózy a glycerolu			
vzorek	1	2	3
použité zařízení	štěrbin	m. válec	štěrbin
mokrý přivažek [%]	83	82	82
doba barvení - expozice MVZ [s]	70	90	90
K/S max. při vlnové délce 520 nm	4,93	3,98	2,11

Vzorky vkládané do mikrovlnného válce byly namotány tak, že efektivní tloušťka pro barvení MVZ byla tři základní tloušťky původní textilie. Zde se již ukazuje přednost použití mikrovlnné energie, která působí rovnoměrně v celé hmotě navinutého barveného vzorku (viz obr. 30a, vzorek č. 2). Výsledné vybarvení je egální. Toho by u barvení láznovým způsobem za srovnatelných podmínek nebylo možné dosáhnout.

Při porovnání působení barviva v mikrovlnném válci a štěrbině v závislosti na čase, vychází, že štěrbin mikrovlnného charakteru je účinnější. Už při 70 sekundové expozici je vidět že vzorek se pomalu začíná pálit. Nejlepšího výsledku (viz obr. 30a, vzorek č. 2) bylo dosaženo v mikrovlnném válci při 90 sekundové expozici. Při působení na štěrbině za tutéž dobu se vzorek začal tavit (viz obr. 30a, vzorek č. 3).

$$20 \text{ g } B^* + 170 \text{ g } G + 1 \text{ kg } S^* + 1 \text{ l } H_2O$$

$$V_c = 1,638 \text{ l}$$



Obr. 30b Porovnání doby expozice v mikrovlnném válci a štěrbině s menší koncentrací sacharózy a glycerolu (viz tab. 6)

Porovnání doby expozice MVZ v mikrovlnném válci a štěrbíně s menší koncentrací sacharózy a glycerolu					
vzorek	1	2	3	4	5
použité zařízení	štěrbina	štěrbina	m. válec	m. válec	m. válec
mokrý přivažek [%]	83	84	83	84	82
doba barvení - expozice MVZ [s]	70	90	90	100	110
K/S max. při vlnové délce 520 nm	3,56	3,67	3,84	3,94	4,08

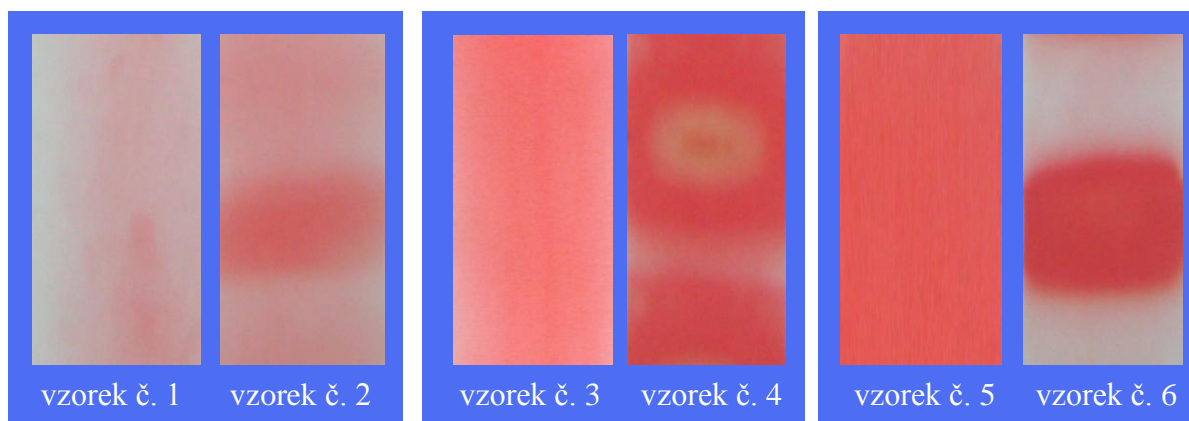
Z tohoto a z předchozího experimentu je patrné, že optimální čas u mikrovlnného válce pro egální a syté vybarvení polyesterových vzorků je 90 – 100 sekund (viz obr. 30b, vzorek č. 3 a č. 4). Při delším působení MVZ se vzorek příliš vysušil a začal se pomalu pálit (viz obr. 30b, vzorek č. 5).

Při porovnání působení doby expozice v mikrovlnném válci a štěrbíně s rozdílnou koncentrací sacharózy a glycerolu (porovnání obr. 30a a 30b) je vidět, že lázeň s větší koncentrací glycerolu (20 g B* + 200 g G + 1,3 kg S* + 1 l H₂O) je účinnější. Nejlepších výsledků rovnoměrného a sytého vybarvení se dosáhlo u vzorku č. 2 (obr. 30a), který byl barven v lázni o větší koncentraci glycerolu a sacharózy.

Z tabulky č. 5 a 6 je zřejmé, že nejlépe obarvené vzorky mají téměř shodné hodnoty K/S (obr. 30a, vzorek č. 2 a obr. 30b, vzorek č. 3 a č. 4).

6. Různé množství sacharózy a glycerolu

A) 20 g B*+ 100 g G + 2 kg S* B) 20 g B*+ 150 l G + 1,5 kg S* C) 20 g B*+ 200 g G + 1 kg S*
+ 1 l H₂O + 1 l H₂O + 1 l H₂O



Obr. 31 Různé množství sacharózy a glycerolu (viz tab. 7)

A) $V_c = 2,954 \text{ l}$

B) $V_c = 2,225 \text{ l}$

C) $V_c = 1,897 \text{ l}$

Tab. 7 (viz obr. 31)

Různé množství sacharózy a glycerolu						
vzorek	1	2	3	4	5	6
použité zařízení	m. válec	štěrbina	m. válec	štěrbina	m. válec	štěrbina
mokrý přivažek [%]	89	88	85	89	87	86
doba barvení – expozice MVZ [s]	90	70	90	70	90	70
K/S max. při vlnové délce 520 nm	0,04	0,46	1,51	5,76	4,17	6,24

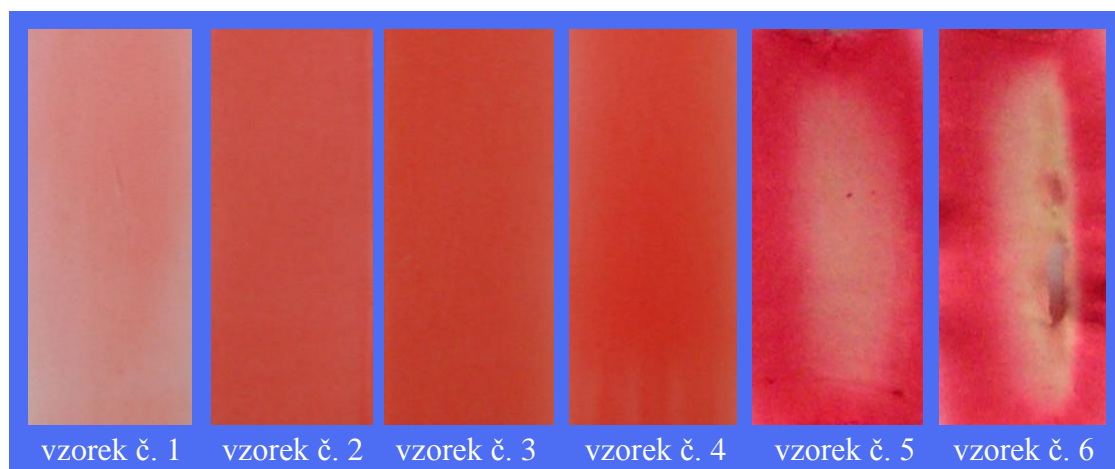
Cílem tohoto experimentu bylo najít optimální složení lázně na syté vybarvení, kde bude převažovat obsah sacharózy nad glycerolem. A to z ekonomických důvodů. Nejlepších výsledků čistého rovnoměrného vybarvení se dosáhlo u vzorku č. 5, který byl barven při 90 sekundové expozici, kde barvicí lázeň obsahovala 20 g barviva, 200 g glycerolu, 1 kg sacharózy a 1 l H_2O .

Jak z tohoto tak i z předchozího experimentu je patrné, že optimálnější obsah glycerolu v barvicí lázni je 200 g/l. Při menším množství nedochází k tak sytému vybarvení odstínu.

7. Vliv doby expozice MVZ v mikrovlnném válci

$$20 \text{ g } B^* + 200 \text{ g } G + 1,4 \text{ kg } S^* + 1 \text{ l } H_2O$$

$$V_c = 1,95 \text{ l}$$



Obr. 32 Vliv doby expozice MVZ v mikrovlnném válci (viz tab. 8)

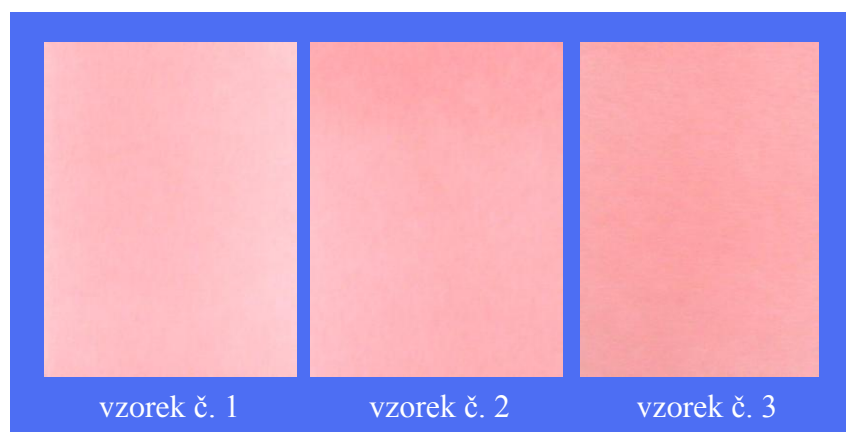
Tab. 8 (viz obr. 32)

Vliv doby expozice MVZ v mikrovlnném válci						
vzorek	1	2	3	4	5	6
mokrý přivažek [%]	94	97	93	94	95	93
doba barvení - expozice MVZ [s]	50	70	90	100	110	120
K/S max. při vlnové délce 520 nm	2,06	4,08	4,25	4,18	5,32	5,58

Při zohlednění výsledků předcházejících pokusů bylo zapotřebí najít optimální dobu pro barvení v mikrovlnném válci. Do lázně bylo přidáno větší množství sacharózy a sledoval se čas, za který se dosáhne egální a co nejvíce syté vybarvení polyesterových vzorků. Lázeň tedy obsahovala 20 g barviva + 200 g glycerolu + 1,4 kg sacharózy + 1 l H₂O. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při působení času 90 a 100 sekund (vzorek č. 3 a č. 4). Také K/S hodnoty jsou podobné. Už při 70 sekundách je vidět sytějšího odstínu, ovšem kalnějšího vzhledu. U vzorku č. 5 a 6 je vidět, že působení mikrovlnné energie při delším čase poškozuje vzorky.

8. Barvení polyesterové tkaniny za varu

Při tomto pokusu bylo připraveno 200 ml barvicí lázně. Lázeň obsahovala 20 g barviva na 1 l vody. Tato lázeň se nechala zahřát k bodu varu, pak se do ní vložily tři připravené kousky polyesterové tkaniny o velikosti 90 x 90 mm. Tyto vzorky byly postupně z lázně vyjímány v intervalech 30 sekund. Vzorek č. 1 byl barven po dobu 30 s, č. 2 po 60 s a č. 3 po 90 s (viz tab. 9).



Obr. 33 Barvení polyesteru za varu

Tab. 9 (viz obr. 33)

Barvení za varu			
vzorek	1	2	3
dobu barvení - expozice MVZ [s]	30	60	90
K/S max. při vlnové délce 520 nm	1,06	1,16	1,35

Z porovnání sytosti vzorků obarvených v lázni – lážňovým způsobem – se vzorky barvenými v mikrovlnném poli vyplývá, že rychlost barvení je srovnatelná, pokud je vzorek při působení mikrovln smočen ve vodě. Pokud obsahuje vzorek při mikrovlnném ohřevu lázeň na bázi glycerolu a sacharózy, pak je dosahováno tímto způsobem při srovnatelných časech s lážňovým barvením ve vodě nesrovnatelně sytějších vybarvení. Lze tedy konstatovat, že v nábalu obsahujícím pouze vodu a barvivo bylo dosaženo stejné teploty a tedy i rychlosti barvení tak, jako při běžném lážňovém barvení ve vroucí lázni.

7. ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla zaměřena na využití mikrovlnného ohřevu při barvení obtížně barvitelných textilních materiálů v závislosti na složení lázně a době barvení. U experimentů byla sledována dosažená sytost odstínu a egalita vybarvení na polyesterové tkanině. Ta byla barvena disperzním barvivem. Lázeň obsahovala buď glycerol, vodu, nebo roztok sacharózy. Sacharóza a glycerol byly použity proto, aby bylo dosaženo vyšších fixačních teplot uvnitř materiálu. Také sloužily k udržení kapalného skupenství vzorků.

Sytost vzorků, které byly barveny v lázni obsahující pouze sacharózu, nebyla dostačující, i když vybarvení bylo stejnoměrné. Sytost a egálnost vzorků barvených v lázni obsahující větší množství glycerolu byla velmi dobrá. Z ekonomických důvodů byla zvolena lázeň obsahující směs sacharózy s glycerolem, v níž bylo taktéž dosaženo výborných výsledků.

Dále bylo vyzkoušeno barvení polyesterové tkaniny v barvicí lázni s vodou za varu. Egalita těchto vzorků byla dobrá, ale sytost vybarvení nedosahovala tak příznivých výsledků jako při barvení v mikrovlnném reaktoru v lázni obsahující glycerol a roztok sacharózy.

Při hodnocení egality vybarvení, bylo zkoumáno mnoho vlivů, které ji mohly ovlivnit. Především umístění. Vzorky vložené ve štěrbině byly probarveny nestejnoměrně, oproti tomu u vzorků umístěných do mikrovlnného válce bylo dosaženo lepších výsledků. Důvodem pravidelného probarvení byla rotace vzorku. Nestejnoměrnost obarvení ve štěrbině ovlivňuje různá intenzita elektromagnetického pole a také stacionární poloha vzorku.

V porovnání účinnosti časové závislosti se jevila lépe metoda štěrbinová, oproti tomu u metody barvení ve válci lze dosáhnout rovnoměrného vybarvení.

Bylo také zjištěno, že se zvyšující se koncentrací použitých přenašečů a pomocných látek (glycerol, sacharóza) se zvyšuje také K/S hodnota obarvovaných vzorků.

Oproti klasickým způsobům barvení má mikrovlnná energie řadu výhod. Především kratší doba působení mikrovlnného záření na textilní materiál, prostorová nenáročnost přístroje a schopnost vyvolat vyšší teplotu uvnitř produktu než na povrchu. I přes tyto výhody však v současné době nelze tímto způsobem nahradit metody klasického barvení. Například u barvení velkého množství textilií.

I když pozitivní výsledky této práce naznačují, že mikrovlnné barvení má vysoký potenciál, při současném stavu techniky nelze očekávat výraznější průmyslové rozšíření. Především kvůli odlišnosti intenzity elektromagnetického pole uvnitř vlnovodu. V menším měřítku může být však tato technologie úspěšně využita.

Typová optimální receptura pro fixaci disperzních barviv na polyesterové textiii mikrovlnným zářením je:

- 20 g barviva + 1,4 kg sacharózy + 200 g glycerolu + 1 l H₂O (celkový objem roztoku je 1,95 l s hustotou 1340 kg.m⁻³)
- optimální doba expozice MVZ na egální a syté vybarvení v mikrovlnném válci je 90 s

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Chadt,M.: *Mikrovlnná trouba* [online] [cit 12.03.09] Dostupné z [www: http://www.najdiservis.cz/cojeto.htm?typ=1&clid=2113&strana=1](http://www.najdiservis.cz/cojeto.htm?typ=1&clid=2113&strana=1)
- [2] *Mikrovlny* [online] [cit 12.03.09] Dostupné z [www: http://mfweb.wz.cz/fyzika/201.htm](http://mfweb.wz.cz/fyzika/201.htm)
- [3] *Využití mikrovlnného vysoušení v textilním průmyslu* [online] c2007 [cit 12.03.09] Dostupné z [www: http://www.3pod.cz/131-Vyuziti-mikrovlnneho-vysouseni-v-textilnim-prumyslu.html](http://www.3pod.cz/131-Vyuziti-mikrovlnneho-vysouseni-v-textilnim-prumyslu.html)
- [4] Dvořáková,D.: *Možnosti použití vysokofrekvenčního elektromagnetického pole v textilní technologii*, diplomová práce, KEL, FM, FT, TU Liberec 2003
- [5] Otevřená encyklopedie: *Elektromagnetické pole* [cit 12.03.09] Dostupné z [www: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_pole](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_pole)
- [6] Maršálek,L.: *Úvahy kolem elektromagnetického pole* [online] c2003 [cit 15.03.09] Dostupné z [www: http://www.sendme.cz/goro/elmag_cz.html](http://www.sendme.cz/goro/elmag_cz.html)
- [7] Gymnázium F. X. ŠALDY: *Elektromagnetické spektrum* [online] c2006 [cit 10.03.09] Dostupné z [www: http://jan.gfxs.cz/studium/files/optika/spektrum.pdf](http://jan.gfxs.cz/studium/files/optika/spektrum.pdf)
- [8] *Elektromagnetické spektrum* [online] [cit 20.03.09] Dostupné z [www: www.fsmark.cz/zzz/el_spektrum.doc](http://www.fsmark.cz/zzz/el_spektrum.doc)
- [9] *Šíření elektromagnetické vlny* [online] [cit 24.03.09] Dostupné z [www: http://fyzweb.cz/materialy/aplety_hwang/ElmagVlny/emWave_cz.html](http://fyzweb.cz/materialy/aplety_hwang/ElmagVlny/emWave_cz.html)
- [10] Lepil,O., Šedivý,P.: *Fyzika – Elektřina a magnetismus*, SNTL, Praha 1995, ISBN 978-80-7196-202-1
- [11] Lank,V., Vondra,M.: *Fyzika v kostce pro střední školy*, SNTL, Praha 1996, ISBN 80-7200-060-8
- [12] Maser Service, *Microwave technology* [online] [cit 24.03.09] Dostupné z [www: http://cultural-service.cz/pdf/mikrovlnna-technologie.pdf](http://cultural-service.cz/pdf/mikrovlnna-technologie.pdf)
- [13] Murugan,R., Senthilkumar,M., Ramachandran,T.: *IE Journal-TX,; Study on the Possibility of Reduction in Dyeing Time using Microwave Oven Dyeing Technique* [online] c2007 [cit 26.05.09] Dostupné z [www: http://www.ieindia.org/pdf/87/87TX204.pdf](http://www.ieindia.org/pdf/87/87TX204.pdf)
- [14] Otevřená encyklopedie: *Vlnovod* [online] c2009 [cit 12.03.09] Dostupné z [www: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vlnovod](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vlnovod)

-
- [15] Slanský, M. *Základy elektroniky* [online] [cit 13.03.09] Dostupné z www: <http://michal.slansky.sweb.cz/data/zakladyelektronikydokumentace/kapitola11.pdf>
- [16] Otevřená encyklopedie: *Magnetron* [online] c2009 [cit 13.03.09]
Dostupné z www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetron>
- [17] *Magnetron* [online] [cit 14.03.09] Dostupné z www:
<http://fyzweb.cuni.cz/dilna/krouzky/mikrov/podr1.htm>
- [18] Alexa, T., Novotný, M., Zejda, P.: *Odstraňování vlhkosti mikrovlnným ohřevem* [online] c2005 [cit 21.04.09] Dostupné z www:
<http://www.estav.cz/zpravy/juniorstav/js06-odstranovani-vlhkosti-mw.html>
- [19] Hájek, M.: *Mikrovlny v akci* [online] [cit 18.04.09] Dostupné z www:
<http://archiv.otevrena-veda.cz/index.php?p=seminare>
- [20] *Procesné strojnictvo II* [online] [cit 28.03.09] Dostupné z www:
http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/pedagogika/Ucebnice/Procesne_strojnictvo/3.doc
- [21] Šárka, E.: *Mikrovlnný ohřev - sušení: teorie* [online] [cit 10.04.09] Dostupné z www: <http://www.vscht.cz/sch/www321/7T.html>
- [22] Prášil, M.: *Termické sušení*, [přednáška], TU Liberec 2008
- [23] *Mikrovlnné sušení* [online] c2004 [cit 21.04.09] Dostupné z www:
<http://www.romill.cz/cz/vyhody-mikrovlnne-technologie>
- [24] *Mikrovlnné sušení* [online] c2004 [cit 21.04.09] Dostupné z www:
http://www.nkp.cz/pages/page.php3?page=weba_havarie.htm
- [25] Miklas, Z., Vaváček, M.: *Polyesterová vlákna*, SNTL, Praha 1966
- [26] Otevřená encyklopedie: *Polyesterová vlákna* [online] c2009 [cit 12.04.09] Dostupné z www:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyesterov%C3%A1_vl%C3%A1kna
- [27] Hladík, V. a kol.: *Textilní barvířství*, SNTL, Praha 1982
- [28] Otevřená encyklopedie: *Polyester* [online] c2009 [cit 12.04.09]
Dostupné z www: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polyester>
- [29] Kebl, F.: *Technologie chemických vláken*, SNTL, Praha 1977
- [30] Militký, J.: *Textilní vlákna, speciální vlákna*, skriptum, TU Liberec 2005. ISBN 80-7083-892-2
- [31] Militký, J., Vaniček, J., Kryštůfek, J., Hartych, V.: *Modifikovaná polyesterová vlákna*, SNTL, Praha 1984
- [32] Paigrt, O., Reichstadter, B., a kol.: *Polyesterová vlákna, jejich vlastnosti a textilní*
-

-
- zpracování*, SNTL, Praha 1973
- [33] Wiener, J., Kryštůfek, J., Průšová, M.: *Chemicko-textilní rozbor*, skriptum, TU Liberec 2008. ISBN 978-80-7372-338-5
- [34] Ludewig, H., Brenner, L.: *Polyesterfasern: Chemie und Technologie*, Akademie-Verlag, Berlin 1975
- [35] Hladík, V.: *Disperzní barviva – Teorie a praxe jejich aplikace*, SNTL, Praha 1976
- [36] Kryštůfek, J., Wiener, J.: *Barvení textilií I*, skriptum, TU Liberec 2008. ISBN 978-80-7372-328-6
- [37] Trotman, E.R.: *Dyeing and chemical Technology of Textile Fibres*, Charles Griffin, London 1975
- [38] Peters, R.H. *Textile chemistry III*. Oxford: Elsevier Scientific Publishing Company, 1975. ISBN 0-444-41120-8
- [39] Kryštůfek, J., Pastrnek, R.: *Barvení směsí polyester / bavlna způsobem Termosol – Jig* [návod na cvičení], TU Liberec 2008
- [40] Wiener, J., Kryštůfek, J., Pastrnek, R.: *Barvení polyesteru disperzními barvivy* [návod na cvičení], TU Liberec 2008
- [41] Haghi, A.K.: *World of Garment-Textile-Fashion, An experimental study on dyeing of polyester with microwave rating* [online] [cit 01.12.09] Dostupné z www: <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/9/824/an-experimental-study-on-dyeing-of-polyester-with-microwave-heating1.asp>
- [42] Haggag, B.K., Hanna, B.M., Youssef, N.S.: *Journal American Dyestuff Reporter: Dyeing Polyester With Microwave Heating Using Disperse Dyestuffs* [online] c1995 [cit 18.12.09] Dostupné z www: <http://www.p2pays.org/ref/02/01708.pdf>
- [43] Xu, W., Yang, Ch.: *Journal Coloration Technology*, Volume 118, Issue 5, September 2002, Pages: 211-214: *Hydrolysis and dyeing of polyester fabric using microwave irradiation* [cit 21.12.09]
- [44] Vašíčková, Z.: *Ověření technologie mikrovlnného ohřevu plošných útvarů pomocí stojaté vlny*, diplomová práce, TU Liberec, 2007
- [45] *Otevřená encyklopedie: Glycerol* [online] c2009 [cit 26.08.09] Dostupné z www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Glycerol>
- [46] *Otevřená encyklopedie: Kyselina acetylsalicylová* [online] c2009 [cit 26.08.09] Dostupné z www:
-

http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_acetylsalicylov%C3%A1

[47] Otevřená encyklopedie: Sacharóza [online] c2009 [cit 26.08.09]

Dostupné z www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Sachar%C3%B3za>

[48] Vik,M.: *Základy měření barevnosti I.*, TU Liberec 1995, ISBN 80-7083-162-6